

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of

Masayuki KAMON et al.

Application No.: 10/691,668

Filed: October 24, 2003

Docket No.: 117611

For: POSITIONING DATA CALCULATING PROCEDURE, POSITIONING DATA
CALCULATING APPARATUS AND ARTICULATED MANIPULATOR

CLAIM FOR PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested for the above-identified patent application and the priority provided in 35 U.S.C. §119 is hereby claimed:

Japanese Patent Application No. 2002-316760 filed October 30, 2002

In support of this claim, a certified copy of said original foreign application:

☒ is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. §119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

James A. Oliff
Registration No. 27,075

Thomas J. Pardini
Registration No. 30,411

JAO:TJP/smk

Date: January 20, 2004

OLIFF & BERRIDGE, PLC
P.O. Box 19928
Alexandria, Virginia 22320
Telephone: (703) 836-6400

**DEPOSIT ACCOUNT USE
AUTHORIZATION**

Please grant any extension
necessary for entry;
Charge any fee due to our
Deposit Account No. 15-0461

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年10月30日
Date of Application:

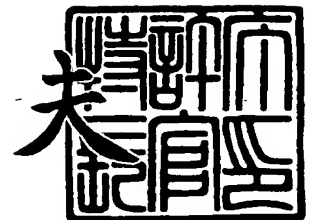
出願番号 特願2002-316760
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2002-316760]

出願人 川崎重工業株式会社
Applicant(s):

2003年11月11日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康夫



出証番号 出証特2003-3092773

【書類名】 特許願
【整理番号】 020456
【提出日】 平成14年10月30日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 B25J 17/00
B25J 9/02
G05B 19/18

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県明石市川崎町 1 番 1 号 川崎重工業株式会社 明
石工場内

【氏名】 掃部 雅幸

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県明石市川崎町 1 番 1 号 川崎重工業株式会社 明
石工場内

【氏名】 八木 栄一

【特許出願人】

【識別番号】 000000974

【氏名又は名称】 川崎重工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100075557

【弁理士】

【フリガナ】 サイキョウ

【氏名又は名称】 西教 圭一郎

【電話番号】 06-6268-1171

【選任した代理人】

【識別番号】 100072235

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉山 毅至

【選任した代理人】

【識別番号】 100101638

【弁理士】

【氏名又は名称】 廣瀬 峰太郎

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009106

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 位置決め演算方法および位置決め演算装置ならびに多関節マニピュレータ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 直列に順に並んで設けられる第 1～第 6 のアーム体と、隣接する 2 つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する 2 つのアーム体をこれら 2 つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、第 6 のアーム体は、予め定められる対象物に回転自在に連結され、対象物と第 6 のアーム体との回転軸線と、第 6 のアーム体と第 5 のアーム体との回転軸線と、第 5 のアーム体と第 4 のアーム体との回転軸線とが交差する 3 軸交点を有する多関節マニピュレータの各アーム体の相対回転角度を求める演算方法であって、

第 1 のアーム体に対して固定的に、相互に直交する x 軸、y 軸および z 軸を有する演算座標系における対象物の位置および姿勢を入力する入力工程と、

入力される対象物の位置および姿勢に基づいて、3 軸交点の演算座標系における x 座標、y 座標および z 座標を求める 3 軸交点演算工程と、

第 1 のアーム体に対する第 2 のアーム体の回転角度である第 1 角度、第 2 のアーム体に対する第 3 のアーム体の回転角度である第 2 角度、第 3 のアーム体に対する第 4 のアーム体の回転角度である第 3 角度を変数として用い、3 軸交点の x 座標を表す x 座標式と、3 軸交点の y 座標に 3 軸交点の z 座標を加算した加算値を表す y z 加算座標式と、3 軸交点の y 座標から 3 軸交点の z 座標を減算した減算値を表す y z 減算座標式とを含む座標式を解いて、第 1～第 3 角度を求める第 1～第 3 角度演算工程と、

これら第 1～第 3 角度と、対象物の姿勢とに基づいて、第 4 のアーム体に対する第 5 のアーム体の回転角度である第 4 角度、第 5 のアーム体に対する第 6 のアーム体の回転角度である第 5 角度、および第 6 のアーム体に対する対象物の回転角度である第 6 角度を求める第 4～第 6 角度演算工程を含むことを特徴とする位置決め演算方法。

【請求項 2】 直列に順に並んで設けられる第 1～第 6 のアーム体と、隣接す

る 2 つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する 2 つのアーム体をこれら 2 つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、第 6 のアーム体は、予め定められる対象物に固定され、第 6 のアーム体と第 5 のアーム体との回転軸線と、第 5 のアーム体と第 4 のアーム体との回転軸線とが交差する 2 軸交点を有する多関節マニピュレータの各アーム体の相対回転角度を求める演算方法であって、

第 1 のアーム体に対して固定的に、相互に直交する x 軸、 y 軸および z 軸を有する演算座標系における対象物の位置および姿勢を入力する入力工程と、

入力される対象物の位置および姿勢に基づいて、2 軸交点の演算座標系における x 座標、 y 座標および z 座標を求める 2 軸交点演算工程と、

第 1 のアーム体に対する第 2 のアーム体の回転角度である第 1 角度、第 2 のアーム体に対する第 3 のアーム体の回転角度である第 2 角度、第 3 のアーム体に対する第 4 のアーム体の回転角度である第 3 角度を変数として用い、2 軸交点の x 座標を表す x 座標式と、2 軸交点の y 座標に 2 軸交点の z 座標を加算した加算値を表す $y z$ 加算座標式と、2 軸交点の y 座標から 2 軸交点の z 座標を減算した減算値を表す $y z$ 減算座標式とを含む座標式を解いて、第 1 ～第 3 角度を求める第 1 ～第 3 角度演算工程と、

これら第 1 ～第 3 角度と、対象物の姿勢とに基づいて、第 4 のアーム体に対する第 5 のアーム体の回転角度である第 4 角度、および第 5 のアーム体に対する第 6 のアーム体の回転角度である第 5 角度を求める第 4 ～第 5 角度演算工程を含むことを特徴とする位置決め演算方法。

【請求項 3】 直列に順に並んで設けられる第 1 ～第 6 のアーム体と、隣接する 2 つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する 2 つのアーム体をこれら 2 つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、第 6 のアーム体は、予め定められる対象物に回転自在に連結され、対象物と第 6 のアーム体との回転軸線と、第 6 のアーム体と第 5 のアーム体との回転軸線と、第 5 のアーム体と第 4 のアーム体との回転軸線とが交差する 3 軸交点を有する多関節マ

ニピューレータの各アーム体の相対回転角度を求める演算装置であって、

第1のアーム体に対して固定的に、相互に直交するx軸、y軸およびz軸を有する演算座標系における対象物の位置および姿勢を入力する入力手段と、

入力される対象物の位置および姿勢に基づいて、3軸交点の演算座標系におけるx座標、y座標およびz座標を求め、第1のアーム体に対する第2のアーム体の回転角度である第1角度、第2のアーム体に対する第3のアーム体の回転角度である第2角度、第3のアーム体に対する第4のアーム体の回転角度である第3角度を変数として用い、3軸交点のx座標を表すx座標式と、3軸交点のy座標に3軸交点のz座標を加算した加算値を表すyz加算座標式と、3軸交点のy座標から3軸交点のz座標を減算した減算値を表すyz減算座標式とを含む座標式を解いて、第1～第3角度を求め、これら第1～第3角度と、対象物の姿勢とに基づいて、第4のアーム体に対する第5のアーム体の回転角度である第4角度、第5のアーム体に対する第6のアーム体の回転角度である第5角度、および第6のアーム体に対する対象物の回転角度である第6角度を求める演算手段と、

演算手段が演算した演算結果を出力する出力手段とを備えることを特徴とする位置決め演算装置。

【請求項4】 直列に順に並んで設けられる第1～第6のアーム体と、隣接する2つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する2つのアーム体をこれら2つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、第6のアーム体は、予め定められる対象物に固定され、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する2軸交点を有する多関節マニピューレータの各アーム体の相対回転角度を求める演算装置であって、

第1のアーム体に対して固定的に、相互に直交するx軸、y軸およびz軸を有する演算座標系における対象物の位置および姿勢を入力する入力手段と、

入力される対象物の位置および姿勢に基づいて、2軸交点の演算座標系におけるx座標、y座標およびz座標を求め、第1のアーム体に対する第2のアーム体の回転角度である第1角度、第2のアーム体に対する第3のアーム体の回転角度

である第2角度、第3のアーム体に対する第4のアーム体の回転角度である第3角度を変数として用い、2軸交点のx座標を表すx座標式と、2軸交点のy座標に2軸交点のz座標を加算した加算値を表すyz加算座標式と、2軸交点のy座標から2軸交点のz座標を減算した減算値を表すyz減算座標式とを含む座標式を解いて、第1～第3角度を求め、これら第1～第3角度と、対象物の姿勢とに基づいて、第4のアーム体に対する第5のアーム体の回転角度である第4角度、および第5のアーム体に対する第6のアーム体の回転角度である第5角度を求める演算手段と、

演算手段が演算した演算結果を出力する出力手段とを備えることを特徴とする位置決め演算装置。

【請求項5】 直列に順に並んで設けられる第1～第6のアーム体と、隣接する2つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する2つのアーム体をこれら2つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、予め定められる対象物と第6のアーム体とは、第6のアーム体の軸線まわりに回転自在に連結され、第6のアーム体と第5のアーム体とは、傾斜関節部によって連結され、第5のアーム体と第4のアーム体とは、同軸関節部によって連結され、第4のアーム体と第3のアーム体とは、傾斜関節部によって連結され、第3のアーム体と第2のアーム体とは、同軸関節部によって連結され、第2のアーム体と第1のアーム体とは、傾斜関節部によって連結されることを特徴とする多関節マニピュレータ。

【請求項6】 直列に順に並んで設けられる第1～第6のアーム体と、隣接する2つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する2つのアーム体をこれら2つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、予め定められる対象物と第6のアーム体とが固定され、第6のアーム体と第5のアーム体とは、傾斜関節部によって連結され、第5のアーム体と第4のアーム体とは、同軸関節部によって連結され、第4のアーム体と第3のアーム体とは、傾斜関節部によって連結され、第3のアーム体と第2のアーム体とは、同軸関節部によ

て連結され、第2のアーム体と第1のアーム体とは、傾斜関節部によって連結されることを特徴とする多関節マニピュレータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、複数のアーム体と各アーム体を回転自在に連結する関節部を有する多関節マニピュレータに関し、特にその関節部が、隣接する2つのアーム体を同軸回転自在に連結する同軸関節部と、一方のアーム体を他方のアーム体に対して円錐回転自在に連結する傾斜関節部とによって構成される多関節マニピュレータに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来の技術として、傾斜関節部によって2つのアーム体を連結する多関節マニピュレータが提案されている。傾斜関節部は、連結される2つのアーム体に関して、一方のアームを他方のアームに対して円錐回転自在に連結する。円錐回転するアーム体は、各アーム体の軸線に所定角度傾斜した回転軸線まわりに回転する（たとえば、特許文献1参照～特許文献3参照）。

【0003】

【特許文献1】

特開昭62-148182号公報

【特許文献2】

特開昭56-163624号公報

【特開昭文献3】

特開2001-138279号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

たとえば多関節マニピュレータは、直列に設けられる複数のアーム体と、隣接する2つのアーム体を回転自在に連結する複数の関節部とを有する。各関節部は、傾斜関節部と同軸関節部とを有する。同軸関節部は、隣接する2つのアーム体

を、その各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する。また傾斜関節部は、アーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに円錐回転自在に連結する。

【0005】

多関節マニピュレータは、先端部に連結される手先装置を予め定める経路に沿って移動させる。多関節マニピュレータによって手先装置を移動させるためには、手先装置の運動を各アーム体の回転運動に変換する必要がある。すなわち手先装置が配置される位置および姿勢に基づいて、各アーム体の回転角度を求める逆変換を行う必要がある。

【0006】

特許文献2に開示される従来の技術では、同軸関節部、傾斜関節部、同軸関節部、傾斜関節部、同軸関節部、傾斜関節部、同軸関節部の順に並んで各アーム体を連結する7つの関節部を有する多関節マニピュレータでなければ逆変換を行うことができない。すなわち7つ未満の関節部を有する多関節マニピュレータでは、逆変換して解析解を得ることができない。したがって6つ以下の関節部を有する多関節マニピュレータは、存在しなかった。

【0007】

仮に6つの関節部を有する多関節マニピュレータが存在したとしても、逆変換するためには複雑な連立方程式を解く必要がある。この複雑な方程式を求める場合には、数式処理プログラムを実行するコンピュータを用いても、その解析解の導出が困難である。したがって6つ以下の関節部を有する多関節マニピュレータの場合には、収束演算法、たとえばニュートンラプソン法などによって各アーム体の回転角度を求めなければならない。このように収束演算によって各アーム体の回転角度を求める場合には、各アーム体の回転角度を短時間で求めることができない。

【0008】

また特許文献3に開示される従来の技術として、補間近似して各アーム体の回転角度を求める方法がある。この方法は、解析的な順変換式によって、各アーム体の回転角度を決定した場合の多関節マニピュレータの先端部の代表点を求め、

複数の代表点における各アーム体の回転角度をデータベース化して予め記憶しておく。逆変換するにあたっては、記憶しているデータベースから補間近似して各アーム体の回転角度を求める。このようにして得られる各アーム体の回転角度は、近似解であるので7つ未満の関節部を有する多関節マニピュレータの先端部を正確な位置および姿勢に位置決めすることができない。

【0009】

図10は、補間近似して姿勢制御される多関節マニピュレータ1の一部を示す図である。従来、多関節マニピュレータ1は、手先装置10が代表点に配置されたときの各アーム体の回転角度を記憶している。たとえば第1の代表点Aから第2の代表点Bに手先装置10を移動させる場合、多関節マニピュレータ1は、手先装置10が第1の代表点Aにあるときの各アーム体の回転角度と、手先装置10が第2の代表点Bにあるときの各アーム体の回転角度とをデータベースから読出す。次に手先装置10が第1の代表点Aにあるときの各アーム体の回転角度と、手先装置10が第2の代表点Bにあるときの各アーム体の回転角度とを複数の段階に補間した各回転角度を演算する。多関節マニピュレータ1は、補間した各回転角度に各アーム体を回転させて、手先装置10を第1の代表点Aから第2の代表点Bに移動させる。

【0010】

この場合、各アーム体は補間近似した回転角度に動作するので、正確に手先装置10を位置決めすることができない。したがって手先装置10を、予め定める移動経路に沿ってスムーズに移動させることができないという問題がある。

【0011】

また手先装置10を目標の位置および姿勢にするための、各アーム体の各回転角度は、複数の組合せが存在する。しかし上述したように収束演算または補間近似によって各アーム体の回転角度を求める場合には、各回転角度のうち1つの組合せしか求めることができない。したがって最適なアーム体の回転角度の組合せを求めることができないという問題がある。

【0012】

以上のように従来の技術では、6つ以下の関節部を有する多関節マニピュレー

タでは、手先装置 10 を目標とする位置および姿勢に配置するとき各アーム体の回転角度を解析的に求めることができない。したがって手先装置を目標とする位置および姿勢に高速かつ正確に配置することができない。また各アーム体の角度の複数の組合せを求めることができないという問題がある。

【0013】

したがって、本発明の目的は、対象物が目標とする位置および姿勢に配置されるとき各アーム体の角度を解析的に求めることができる位置決め演算方法および位置決め演算装置を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明は、直列に順に並んで設けられる第 1 ～第 6 のアーム体と、隣接する 2 つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する 2 つのアーム体をこれら 2 つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、第 6 のアーム体は、予め定められる対象物に回転自在に連結され、対象物と第 6 のアーム体との回転軸線と、第 6 のアーム体と第 5 のアーム体との回転軸線と、第 5 のアーム体と第 4 のアーム体との回転軸線とが交差する 3 軸交点を有する多関節マニピュレータの各アーム体の相対回転角度を求める演算方法であって、

第 1 のアーム体に対して固定的に、相互に直交する x 軸、 y 軸および z 軸を有する演算座標系における対象物の位置および姿勢を入力する入力工程と、

入力される対象物の位置および姿勢に基づいて、3 軸交点の演算座標系における x 座標、 y 座標および z 座標を求める 3 軸交点演算工程と、

第 1 のアーム体に対する第 2 のアーム体の回転角度である第 1 角度、第 2 のアーム体に対する第 3 のアーム体の回転角度である第 2 角度、第 3 のアーム体に対する第 4 のアーム体の回転角度である第 3 角度を変数として用い、3 軸交点の x 座標を表す x 座標式と、3 軸交点の y 座標に 3 軸交点の z 座標を加算した加算値を表す $y z$ 加算座標式と、3 軸交点の y 座標から 3 軸交点の z 座標を減算した減算値を表す $y z$ 減算座標式とを含む座標式を解いて、第 1 ～第 3 角度を求める第 1 ～第 3 角度演算工程と、

これら第1～第3角度と、対象物の姿勢とに基づいて、第4のアーム体に対する第5のアーム体の回転角度である第4角度、第5のアーム体に対する第6のアーム体の回転角度である第5角度、および第6のアーム体に対する対象物の回転角度である第6角度を求める第4～第6角度演算工程を含むことを特徴とする位置決め演算方法である。

【0015】

本発明に従えば、姿勢制御対象とする多関節マニピュレータが、その対象物と第6のアーム体との回転軸線と、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する3軸交点を有するので、対象物の位置および姿勢が決定されると、3軸交点の座標を一意的に求めることができる。たとえば対象物は、基台または手先装置であってもよい。

【0016】

したがって対象物の位置および姿勢を入力すると、3軸交点のx座標、y座標およびz座標を求めることができる。またx座標式と、yz加算座標式と、yz減算座標式とを含む座標式を解く。このようにyz加算座標式およびyz減算座標式を用いることによって、各座標式に含まれる第1から第3の角度を解析的に求めることができる。また第1～第3角度演算工程によって、第1～第3角度が求められると、第4～第6角度演算工程によって、第4～第6角度の解析解を求めることができる。

【0017】

このように第1～第6角度の解析解を求めることで、第1～第6角度を短時間でかつ正確に求めることができる。また各角度の解析解を求めることで、対象物が目標とする位置に移動するにあたって、各角度のすべての組合せを求めることができる。

【0018】

また本発明は、直列に順に並んで設けられる第1～第6のアーム体と、隣接する2つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する2つのアーム体をこれら2つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、第6の

アーム体は、予め定められる対象物に固定され、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する2軸交点を有する多関節マニピュレータの各アーム体の相対回転角度を求める演算方法であって、

第1のアーム体に対して固定的に、相互に直交するx軸、y軸およびz軸を有する演算座標系における対象物の位置および姿勢を入力する入力工程と、

入力される対象物の位置および姿勢に基づいて、2軸交点の演算座標系におけるx座標、y座標およびz座標を求める2軸交点演算工程と、

第1のアーム体に対する第2のアーム体の回転角度である第1角度、第2のアーム体に対する第3のアーム体の回転角度である第2角度、第3のアーム体に対する第4のアーム体の回転角度である第3角度を変数として用い、2軸交点のx座標を表すx座標式と、2軸交点のy座標に2軸交点のz座標を加算した加算値を表すyz加算座標式と、2軸交点のy座標から2軸交点のz座標を減算した減算値を表すyz減算座標式とを含む座標式を解いて、第1～第3角度を求める第1～第3角度演算工程と、

これら第1～第3角度と、対象物の姿勢とに基づいて、第4のアーム体に対する第5のアーム体の回転角度である第4角度、および第5のアーム体に対する第6のアーム体の回転角度である第5角度を求める第4～第5角度演算工程を含むことを特徴とする位置決め演算方法である。

【0019】

本発明に従えば、姿勢制御対象とする多関節マニピュレータが、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する2軸交点を有するので、対象物の位置および姿勢が決定されると、2軸交点の座標を一意的に求めることができる。たとえば対象物は、基台または手先装置であってもよい。

【0020】

したがって対象物の位置および姿勢を入力すると、2軸交点のx座標、y座標およびz座標を求めることができる。またx座標式と、yz加算座標式と、yz減算座標式とを含む座標式を解く。このようにyz加算座標式およびyz減算座

標式を用いることによって、各座標式に含まれる第1から第3の角度を解析的に求めることができる。また第1～第3角度演算工程によって、第1～第3角度が求められると、第4～第5角度演算工程によって、第4～第5角度の解析解を求めることができる。

【0021】

このように第1～第5角度の解析解を求めることで、第1～第5角度を短時間でかつ正確に求めることができる。また各角度の解析解を求めることで、対象物が目標とする位置に移動するにあたって、各角度のすべての組合せを求めることができる。

【0022】

また本発明は、直列に順に並んで設けられる第1～第6のアーム体と、隣接する2つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する2つのアーム体をこれら2つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、第6のアーム体は、予め定められる対象物に回転自在に連結され、対象物と第6のアーム体との回転軸線と、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する3軸交点を有する多関節マニピュレータの各アーム体の相対回転角度を求める演算装置であって、

第1のアーム体に対して固定的に、相互に直交するx軸、y軸およびz軸を有する演算座標系における対象物の位置および姿勢を入力する入力手段と、

入力される対象物の位置および姿勢に基づいて、3軸交点の演算座標系におけるx座標、y座標およびz座標を求め、第1のアーム体に対する第2のアーム体の回転角度である第1角度、第2のアーム体に対する第3のアーム体の回転角度である第2角度、第3のアーム体に対する第4のアーム体の回転角度である第3角度を変数として用い、3軸交点のx座標を表すx座標式と、3軸交点のy座標に3軸交点のz座標を加算した加算値を表すyz加算座標式と、3軸交点のy座標から3軸交点のz座標を減算した減算値を表すyz減算座標式とを含む座標式を解いて、第1～第3角度を求め、これら第1～第3角度と、対象物の姿勢とに基づいて、第4のアーム体に対する第5のアーム体の回転角度である第4角度、

第5のアーム体に対する第6のアーム体の回転角度である第5角度、および第6のアーム体に対する対象物の回転角度である第6角度を求める演算手段と、

演算手段が演算した演算結果を出力する出力手段とを備えることを特徴とする位置決め演算装置である。

【0023】

本発明に従えば、姿勢制御対象とする多関節マニピュレータが、その対象物と第6のアーム体との回転軸線と、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する3軸交点を有するので、対象物の位置および姿勢が決定されると、3軸交点の座標を一意的に求めることができる。たとえば対象物は、基台または手先装置であってもよい。

【0024】

したがって入力手段によって、対象物の位置および姿勢を入力すると、演算手段によって、3軸交点のx座標、y座標およびz座標を求めることができる。また演算手段が、第1～第3角度を変数としてx座標式と、yz加算座標式と、yz減算値を表すyz減算座標式とを含む座標式を解く。このようにyz加算座標式およびyz減算座標式を用いることによって、各座標式に含まれる第1～第3の角度を解析的に求めることができる。また第1～第3角度を求めると、次に第1～第3角度に基づいて、第4～第6角度の解析解を求めることができる。演算手段は、求められた第1～第6角度を出力手段に与え、出力手段は、演算結果を外部に出力する。

【0025】

このように第1～第6角度の解析解を求めることで、対象物が目標とする位置および姿勢で配置されるときに、第1～第6角度を短時間でかつ正確に求めることができる。また各角度の解析解を求めることで、対象物が目標とする位置に移動するにあたって、各角度のすべての組合せを求めることができる。

【0026】

また本発明は、直列に順に並んで設けられる第1～第6のアーム体と、隣接する2つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する2つのアーム体をこれら2つのアーム体の軸線に対

して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、第6のアーム体は、予め定められる対象物に固定され、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する2軸交点を有する多関節マニピュレータの各アーム体の相対回転角度を求める演算装置であって、

第1のアーム体に対して固定的に、相互に直交するx軸、y軸およびz軸を有する演算座標系における対象物の位置および姿勢を入力する入力手段と、

入力される対象物の位置および姿勢に基づいて、2軸交点の演算座標系におけるx座標、y座標およびz座標を求め、第1のアーム体に対する第2のアーム体の回転角度である第1角度、第2のアーム体に対する第3のアーム体の回転角度である第2角度、第3のアーム体に対する第4のアーム体の回転角度である第3角度を変数として用い、2軸交点のx座標を表すx座標式と、2軸交点のy座標に2軸交点のz座標を加算した加算値を表すyz加算座標式と、2軸交点のy座標から2軸交点のz座標を減算した減算値を表すyz減算座標式とを含む座標式を解いて、第1～第3角度を求め、これら第1～第3角度と、対象物の姿勢とに基づいて、第4のアーム体に対する第5のアーム体の回転角度である第4角度、および第5のアーム体に対する第6のアーム体の回転角度である第5角度を求める演算手段と、

演算手段が演算した演算結果を出力する出力手段とを備えることを特徴とする位置決め演算装置である。

【0027】

本発明に従えば、姿勢制御対象とする多関節マニピュレータが、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する2軸交点を有するので、対象物の位置および姿勢が決定されると、2軸交点の座標を一意的に求めることができる。たとえば対象物は、基台または手先装置であってもよい。

【0028】

したがって入力手段によって、対象物の位置および姿勢を入力すると、演算手段によって、2軸交点のx座標、y座標およびz座標を求めることができる。ま

た演算手段が、第1～第3角度を変数としてx座標式と、yz加算座標式と、yz減算値を表すyz減算座標式とを含む座標式を解く。このようにyz加算座標式およびyz減算座標式を用いることによって、各座標式に含まれる第1～第3の角度を解析的に求めることができる。また第1～第3角度を求めると、次に第1～第3角度に基づいて、第4～第5角度の解析解を求めることができる。演算手段は、求められた第1～第5角度を出力手段に与え、出力手段は、演算結果を外部に出力する。

【0029】

このように第1～第5角度の解析解を求めることで、対象物が目標とする位置および姿勢で配置されるときに、第1～第5角度を短時間でかつ正確に求めることができる。また各角度の解析解を求めることで、対象物が目標とする位置に移動するにあたって、各角度のすべての組合せを求めることができる。

【0030】

また本発明は、直列に順に並んで設けられる第1～第6のアーム体と、隣接する2つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する2つのアーム体をこれら2つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、予め定められる対象物と第6のアーム体とは、第6のアーム体の軸線まわりに回転自在に連結され、第6のアーム体と第5のアーム体とは、傾斜関節部によって連結され、第4のアーム体と第5のアーム体とは、同軸関節部によって連結され、第3のアーム体と第4のアーム体とは、傾斜関節部によって連結され、第2のアーム体と第3のアーム体とは、同軸関節部によって連結され、第1のアーム体と第2のアーム体とは、傾斜関節部によって連結されることを特徴とする多関節マニピュレータである。

【0031】

本発明に従えば、その対象物と第6のアーム体との回転軸線と、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する3軸交点を有する。これによって姿勢制御される場合、対象物の位置および姿勢が決定されると、姿勢制御装置によって、3軸交点の座標を一

意的に求めることができる。これによって上述したような姿勢制御装置によって、対象物が目標とする位置および姿勢に配置された場合の各アーム体の各第1～第6角度を解析的に求めることができる。

【0032】

さらに第1～第3のアーム体を連結する関節部のうち少なくとも1つの傾斜関節部によって連結される2つのアーム体の回転軸線が、これら2つのアーム体の軸線に対して45度を成して傾斜する場合、上述したような姿勢制御装置が、各角度を求めるための式を簡略化することができる。これによって姿勢制御装置にさらに短時間で第1～第6の角度を求めさせることができる。

【0033】

また本発明は、直列に順に並んで設けられる第1～第6のアーム体と、隣接する2つのアーム体を各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部と、隣接する2つのアーム体をこれら2つのアーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部とを有し、予め定められる対象物と第6のアーム体とが固定され、第6のアーム体と第5のアーム体とは、傾斜関節部によって連結され、第4のアーム体と第5のアーム体とは、同軸関節部によって連結され、第3のアーム体と第4のアーム体とは、傾斜関節部によって連結され、第2のアーム体と第3のアーム体とは、同軸関節部によって連結され、第1のアーム体と第2のアーム体とは、傾斜関節部によって連結されることを特徴とする多関節マニピュレータである。

【0034】

本発明に従えば、その第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する2軸交点を有する。これによって姿勢制御される場合、対象物の位置および姿勢が決定されると、姿勢制御装置によって、2軸交点の座標を一意的に求めることができる。これによって上述したような姿勢制御装置によって、対象物が目標とする位置および姿勢に配置された場合の各アーム体の各第1～第5角度を解析的に求めることができる。

【0035】

さらに第1～第3のアーム体を連結する関節部のうち少なくとも1つの傾斜関

節部によって連結される 2 つのアーム体の回転軸線が、これら 2 つのアーム体の軸線に対して 45 度を成して傾斜する場合、上述したような姿勢制御装置が、各回転角度を求めるための式を簡略化することができる。これによって姿勢制御装置にさらに短時間で第 1 ～ 第 5 角度を求めさせることができる。

【0036】

【発明の実施の形態】

図 1 は、本発明の実施の一形態である多関節マニピュレータ 20 を示す正面図である。本発明の実施の一形態である多関節マニピュレータは、複数のアーム体と、アーム体を回転自在に連結する複数の関節部とを有する。各アーム体は、それぞれ連結されて直列状に延びるアーム連結体を構成する。

【0037】

各関節部は、同軸関節部と傾斜関節部とが組み合わされて設けられる。同軸関節部は、隣接する 2 つのアーム体を、その各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する。また傾斜関節部は、隣接する 2 つのアーム体のうち一方を、各アーム体の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに円錐回転自在に連結する。本発明において、「円錐回転」は、回転軸線を中心とし、2 つのアーム体の連結部分を頂点とする仮想円錐の周面に沿って相対的に回転することである。また本発明において、「回転」は、回転軸線まわりに 360 度以下の角度で角変位する状態も含む。

【0038】

このような同軸関節および傾斜関節を含む多関節マニピュレータは、各アーム体をそれぞれ回転させることによって、蛇のような動きをさせて、3 次元位置決めが可能である。たとえば設備等が複雑に入り組み、作業経路が複雑な場合、であっても、好適に本発明の多関節マニピュレータを動作させることができる。

【0039】

多関節マニピュレータは、産業用ロボットに用いられる。たとえば多関節マニピュレータの遊端部に各種手先装置、いわゆるエンドエフェクタを連結し、手先装置を目標位置に配置して手先装置を動作させることによって、狭隘な作業空間におけるハンドリング、シーリング、塗装またはアーク溶接などを行うことがで

きる。

【0040】

図1に示すように、多関節マニピュレータ20は、6自由度を有して実現される。多関節マニピュレータ20は、直列に設けられる第1～第6のアーム体c1～c6と、隣接する2つのアーム体を回転自在に連結する複数の関節部d1～d6とを有する。各アーム体c1～c6は、連結されてアーム連結体を構成する。各関節部は、3つの同軸関節部d1、d3、d5と3つの傾斜回転部d2、d4、d6とを有する。傾斜回転部d2、d4、d6は、隣接する2つの各アーム体の軸線に対して45度の角度を成して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に2つのアーム体を連結する。

【0041】

複数のアーム体c1～c6は、直列方向に並んで配置される。そのうち一端部に第1のアーム体c1が配置され、第2～第6のアーム体c2～c6が順に連結される。第6のアーム体c6には、手先装置22が連結される。第1～第6のアーム体c1～c6は、図1に示すように、それぞれの軸線が同軸に配置されて一直線状に延びる状態に変形可能である。

【0042】

第1のアーム体c1は、その一端部23が同軸関節部d1によって、予め定める対象物である基台21に連結される。基台21は、予め定める固定位置に固定されても、移動可能に設けられてもよい。第1のアーム体c1は、その軸線と同軸の回転軸線L1まわりに基台21に対して回転自在に連結される。また第1のアーム体c1のうち、基台21と反対側の端部24には、傾斜関節部d2によって第2のアーム体c2が連結される。

【0043】

第1のアーム体c1と第2のアーム体c2とは、第1のアーム体c1および第2のアーム体c2の軸線に対して、45度の角度を成して傾斜する回転軸線L2まわりに回転自在に連結される。第2のアーム体c2のうち、第1のアーム体c1と反対側の端部25には、同軸関節部d3によって第3のアーム体c3が連結される。

【0044】

第2のアーム体c2と第3のアーム体c3とは、互いの軸線と同軸な回転軸線L3まわりに回転自在に連結される。第3のアーム体c3のうち、第2のアーム体c2と反対側の端部26には、傾斜関節部d4によって第4のアーム体c4が連結される。

【0045】

第3のアーム体c3と第4のアーム体c4とは、第3のアーム体c3および第4のアーム体c4の軸線に対して、45度の角度を成して傾斜する回転軸線L4まわりに回転自在に連結される。第4のアーム体c4のうち、第3のアーム体c3と反対側の端部27には、同軸関節部d5によって第5のアーム体c5が連結される。

【0046】


第4のアーム体c4と第5のアーム体c5とは、互いの軸線と同軸な回転軸線L5まわりに回転自在に連結される。第5のアーム体c5のうち、第4のアーム体c4と反対側の端部28には、傾斜関節部d6によって第6のアーム体c6が連結される。

【0047】

第5のアーム体c5と第6のアーム体c6とは、第5のアーム体c5および第6のアーム体c6の軸線に対して、45度の角度を成して傾斜する回転軸線L6まわりに回転自在に連結される。また本発明の実施の形態では、第6のアーム体c6のうち、第5のアーム体c5と反対側の端部には、手先装置22が連結される。手先装置22は、たとえば部品を把持および把持解除するためのハンドリング装置であってもよい。

【0048】

このように複数のアーム体c1～c6は、同軸関節部と傾斜関節部とが交互に配置される。また各アーム体c1～c6の各軸線は、すべての軸線が同軸に配置されて一直線状に連結可能に形成される。多関節マニピュレータ20は、基台21と第1のアーム体との回転軸線L1と、第1のアーム体と第2のアーム体との回転軸線L2と、第2のアーム体と第3のアーム体との回転軸線L3とが交差す



る 3 軸交点を有する。

【0049】

各アーム体 c 1 ～ c 6 は、各アーム体を回転駆動する回転駆動モータを内蔵する。また各アーム体 c 1 ～ c 6 は、その軸線を挿通する中空空間が形成される。この中空空間に 1 または複数の配線が内蔵される。各配線は、回転駆動モータを回転させるための電力、回転駆動モータへの回転指示、手先装置 22 へ圧縮空気などを供給する。

【0050】

各アーム体を回転軸線まわりに回転する回転機構は、従来の機構と同様の機構であってもよい。たとえば一方のアーム体と他方のアーム体とを回転軸線まわりに回転自在に支持するベアリングと、中空形状の波動歯車機構たとえばハーモニックドライブ（登録商標）とを備える。波動歯車機構は、入力側部材と出力側部材とを備え、それらが相対的に回転する。一方のアーム体は、入力側部材に連結され、他方のアーム体は、出力側部材に連結される。

【0051】

回転駆動モータからの回転が入力側部材に与えられると、入力側部材と出力側部材とが相対的に回転する。これによって一方のアーム体と他方のアーム体とを相対的に回転させることができる。このような回転機構が、各アーム体 c 1 ～ c 6 に設けられることによって、隣接する 2 つのアーム体を、相対的に回転させることができる。さらに中空形状のハーモニックドライブ機構を用いることによって、連結される 2 つのアーム体の各挿通空間に各配線を挿通させた状態で、2 つのアーム体を回転することができる。さらに多関節マニピュレータ全体、または挿通空間内を挿通する各配線を耐水性、耐熱性あるいは耐衝撃性のある材料によって構成されるカバーで覆うことによって、防塵、防爆、防水性を必要とする作業環境に好適に用いることができる。

【0052】

図 1 に示すように、多関節マニピュレータ 20 は、さらに各アーム体の相対回転角度を求める位置決め演算装置 30 を備える。位置決め演算装置 30 は、目標とする位置および姿勢に手先装置 22 を移動させるにあたって、手先装置 22 を

目標とする位置および姿勢に移動させるのに必要な各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の相対回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を求める。

【0053】

位置決め演算装置 30 は、入力手段 31 と、演算手段 32 と、出力手段 33 とを有する。入力手段 31 は、演算座標系における手先装置 22 の位置および姿勢を入力する。また演算手段 32 は、入力手段 31 から入力された手先装置 22 の位置および姿勢と、多関節マニピュレータの諸形状とに基づいて、手先装置 22 を目標とする位置および姿勢に移動させるのに必要な各アーム体の相対回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を演算する。出力手段 33 は、演算手段 32 による演算結果に基づいて、各アーム体を回転するための電力と回転指令を与え、演算結果に応じて各アーム体 $c_1 \sim c_6$ を回転させる。

【0054】

位置決め演算装置 30 は、たとえばコンピュータによって実現される。入力手段 31 は、キーボード、マウスなどのポインティングデバイスおよび作業者が多関節マニピュレータ 2 を直接制御するコントローラであるティーチペンダントによって実現される。また入力手段 31 は、位置決め演算装置 30 に接続される他の装置から手先装置 22 の位置および姿勢を入力されてもよい。出力手段 33 は、各駆動モータを回転させるための回転指令信号を、演算結果に応じて生成し、生成した回転指令信号を各駆動モータに与える。出力手段 33 は、たとえば駆動回路によって実現される。位置決め演算装置 30 は、多関節マニピュレータ 20 に内蔵されていてもよく、また別途設けられていてもよい。

【0055】

また演算手段 32 は、演算プログラムを実行する中央処理装置 (Central Processing Unit) を含んで実現される。中央処理装置は、予め演算プログラムを記憶していてもよく、またコンピュータ読取可能な記憶媒体に記録される演算プログラムを読み取ることによって実行してもよい。演算プログラムは、後述する演算方法を示す。

【0056】

図 2 は、位置決め演算装置 30 によって姿勢制御される多関節マニピュレータ

20を示す図である。位置決め演算装置30は、解析計算式に基づいて、手先装置22を目的の位置および姿勢に配置させるための各アーム体c1～c6の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を数値的に求める。上述する6軸多関節マニピュレータ20では、手先装置22を目標とする位置および姿勢に配置する場合、各アーム体c1～c6の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ は、8通りの組合せがある。演算装置30がこの各アーム体c1～c6の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を解析計算式に基づいて求めることによって、この8通りの組合せを同時に求めることができる。図2(1)～図2(8)に示すように、手先装置22を予め定める位置および姿勢に配置する場合の各アーム体の回転角度の組合せを複数求めることができるので、エネルギーコストおよび障害物の有無に応じて、アーム体c1～c6の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ の組合せを選択することができる。

【0057】

図3は、手先装置22を移動させる場合に位置決め演算装置30によって姿勢制御される多関節マニピュレータ20を説明するための図である。たとえば第1の代表点Aから第2の代表点Bに手先装置22を移動させる場合には、第1の代表点Aと第2の代表点Bとの間を手先装置22が通過する通過点U1～U3を求め、通過点U1～U3に配置されるとき各アーム体の回転角度を求めることができる。これによって手先装置22が移動する経路に沿って通過点を順に設定し、通過点ごとに各アーム体の回転角度を求めることによって、指定した経路に沿って手先装置22を円滑に移動させることができる。

【0058】

また位置決め演算装置30は、従来のように収束演算によって、各アーム体の回転角度を求める必要がないので短時間で求めることができる。また演算手段31に高い処理能力を必要としない。したがって手先装置22の移動時であっても各アーム体の回転角度を演算することができる。さらに従来技術のように、代表点A、Bにおける各アーム体の回転角度をデータベース化して記憶する必要がなく、必要なデータ記憶容量を低減させることができる。

【0059】

図4は、本発明の位置決め演算方法を大略的に示すフローチャートである。ま

ず、ステップ s 1 で、制御対象である多関節マニピュレータ 20 の各アーム体の寸法およびアーム体を連結する関節の種類などの諸条件が与えられ、各アーム体の回転角度を演算可能な状態となると、ステップ s 2 に進む。

【0060】

ステップ s 2 では、多関節マニピュレータ 20 が移動させる対象物の位置および姿勢を取得する。たとえば対象物は、第 6 のアーム体 c 6 の先端に連結される手先装置 22 であり、固定して設けられる座標系に対する手先装置 22 の位置および姿勢が入力される。このように対象物を配置すべき目標の位置および姿勢を取得するとステップ s 3 に進む。

【0061】


ステップ s 3 では、各アーム体のうち直列方向に順に並ぶ 3 つのアーム体のそれぞれの回転軸線が互いに交差する 3 軸交点の座標を求める。3 軸交点は、対象物の位置および姿勢が決定されると、その座標を一意的に求めることができる。したがってステップ s 2 によって取得した対象物の位置および姿勢に基づいて、3 軸交点の座標を求めることができる。3 軸交点の座標を求めるとステップ s 4 に進む。

【0062】

ステップ s 4 では、3 軸交点を通過する 3 つの回転軸線以外の残余の 3 つの回転軸線まわりに回転する 3 つのアーム体の相対的な回転角度である第 1 ～第 3 角度を変数として用いて、3 軸交点の座標を表わす座標式を生成する。すなわち 3 軸交点の x 座標を表わす x 座標式と、y 座標を表わす y 座標式と、z 座標を表わす z 座標式とを生成する。次に、y 座標式および z 座標式に基づいて、y 座標に z 座標を加算した加算値を表す y z 加算座標式と、y 座標から z 座標を減算した減算値を表す y z 減算座標式とを含む座標式を生成する。このように各座標式を生成すると、ステップ s 5 に進む。

【0063】

ステップ s 5 では、ステップ s 3 で求められる 3 軸交点の座標と、ステップ s 4 で求められた x 座標式、y z 加算座標式、y z 減算座標式に基づいて、第 1 ～第 3 角度を求める。さらに第 1 ～第 3 角度に基づいて、残りの第 4 ～第 6 角度を



求める。このようにして各アーム体の回転角度を求めると、ステップ s 6 に進み、動作を終了する。

【0064】

図 1 に示す多関節マニピュレータ 20 の場合、各角度をより容易に求めるために、本実施の形態における多関節マニピュレータ 20 を真のモデルとし、その真のモデルに対して z 軸に反転した反転モデルと、反転モデルに対して等価なモデルであって 1 つの関節部の構成が異なる等価モデルとを仮定する。真のモデルを、反転モデルおよび等価モデルに変換して各アーム体の回転角度を求めることによって、より容易に各アーム体の回転角度を求めることができる。

【0065】

図 5 は、図 1 に示す多関節マニピュレータ 20 の位置決め演算処理方法を具体的に示すフローチャートである。演算処理方法として、ステップ s 11 で真のモデルにおける多関節マニピュレータの各アーム体の寸法およびアーム体を連結する関節の種類などの諸条件が与えられ、各アーム体の回転角度を演算可能な状態となると、ステップ s 12 に進む。

【0066】

ステップ s 12 では、真のモデルにおける基台 21 に対する手先装置 22 の位置および姿勢を取得し、ステップ s 13 に進む。ステップ s 13 では、真のモデルにおける座標系および位置を反転モデルにおける座標系および位置に変換する。次に反転モデルにおける手先装置 22 に対する基台 21 の位置および姿勢を演算し、ステップ s 14 に進む。ステップ s 14 では、反転モデルにおける基台 21 の位置および姿勢に基づいて、反転モデルにおける 3 軸交点の位置を求め、ステップ s 15 に進む。

【0067】

ステップ s 15 では、等価モデルにおいて、3 軸交点を通過する 3 つの回転軸線以外の残余の 3 つの回転軸線まわりに回転する 3 つのアーム体の相対的な回転角度である第 1 ～ 第 3 角度を変数として 3 軸交点の位置を示す座標式を生成する。具体的には等価モデルにおいて、3 軸交点の x 座標を表わす x 座標式と、y 座標を表わす y 座標式と、z 座標を表わす z 座標式とを生成する。次に、y 座標式

および z 座標式に基づいて、 y 座標に z 座標を加算した加算値を表す $y z$ 加算座標式と、 y 座標から z 座標を減算した減算値を表す $y z$ 減算座標式とを含む座標式を生成する。このような数式が求められるとステップ $s16$ に進む。

【0068】

ステップ $s16$ では、ステップ $s14$ において求められた反転モデルにおける 3 軸交点の位置と、ステップ $s16$ によって求められた x 座標式と、 $y z$ 加算座標式と、 $y z$ 減算座標式とに基づいて、等価モデルにおける第 1～第 3 角度を求め、ステップ $s17$ に進む。

【0069】

ステップ $s17$ では、ステップ $s16$ で求められた第 1～第 3 角度を等価モデルから反転モデルに変換し、反転モデルにおける第 1～第 3 角度を演算する。反転モデルにおける第 1～第 3 角度が求まるとステップ $s18$ に進む。ステップ $s18$ では、ステップ $s17$ で求められた反転モデルの第 1～第 3 角度に基づいて、反転モデルの第 4～第 6 角度を求め、ステップ $s19$ に進む。ステップ $s19$ では、ステップ $s17$ およびステップ $s18$ で求められた反転モデルにおける第 1～第 6 角度を真のモデルにおける第 1～第 6 角度に変換し、ステップ $s20$ に進み、動作を終了する。

【0070】

図 6 は、本発明の多関節マニピュレータ 20 をモデル化した真のモデルを示す図である。多関節マニピュレータ 20 には、基台 21 に固定的に設けられ、相互に直交する演算座標系 Σ_{rb} が設定される。演算座標系 Σ_{rb} は、直交 3 軸の座標系であって、予め定める演算原点を通過し第 1 の方向に延びる軸である演算 x 軸、演算原点を通過し演算 x 軸に直交する第 2 の方向に延びる軸である演算 y 軸、および演算原点を通過し演算 x 軸および演算 y 軸とともに直交する第 3 の方向に延びる軸である演算 z 軸を有する。

【0071】

また各アーム体 $c1 \sim c6$ 、手先装置 22 は、それぞれに固定して予め定める各対象座標系が設定される。各対象座標系は、直交 3 軸の座標系であって、対応する各アーム体 $c1 \sim c6$ または手先装置 22 の代表点を原点とする。またその

原点を通過し第1の方向に延びる軸である対象x軸、対象原点を通過し対象x軸に直交する第2の方向に延びる軸である対象y軸、および対象原点を通過し対象x軸および対象y軸とともに直交する第3の方向に延びる軸である対象z軸を有する。

【0072】

図6に示す真のモデルでは、第1のアーム体c1と基台21との回転軸線L1に沿って延びる仮想線が通過する一点であって、基台21に定める基台代表点Sを原点とする演算座標系 Σ_{rb} が設定される。また手先装置22と第6のアーム体c6とは固定されているので、手先装置22の位置および姿勢を決定することと、第6のアーム体c6の位置および姿勢を決定することとは等価である。したがって、手先装置22の位置は、第4のアーム体c4と第5のアーム体c5との回転軸線L5に沿って延びる仮想線が通過する一点であって、第6のアーム体c6の代表点Tの座標で表わされる。

【0073】

また手先装置22に固定して設けられる対象座標系である手先座標系 Σ_{rt} は、第6のアーム体c6の代表点Tを原点とする直交3軸の座標系である。各アーム体c1～c6が互いに相対的に回転することによって、演算座標系 Σ_{rb} に対して第6のアーム体c6の代表点Tが移動する。

【0074】

代表点Tの位置(T_x , T_y , T_z)は、代表点Tにおける演算z軸の座標 T_x 、演算y座標の座標 T_y および演算z軸座標 T_z で表わす。また各アーム体の軸線が同軸に配置されて一直線状に連結される一連結状態から各アーム体c1～c6が互いに相対的に回転することによって、演算座標系 Σ_{rb} に対して手先座標系 Σ_{rt} が回転し、第6のアーム体c6の姿勢が変化する。第6のアーム体c6の姿勢(q_o , q_a , q_t)は、手先座標系 Σ_{rt} が、演算z軸まわりに回転する角度 q_o 、演算y軸まわりに回転する角度 q_a 、演算z軸まわりに回転する角度 q_t で表わす。

【0075】

各アーム体c1～c6は、前記一連結状態を基準状態とし、前記一連結状態か

ら基台 21 に対する第 1 のアーム体 c 1 の回転角度を第 1 角度 θ_1 とし、第 1 のアーム体 c 1 に対する第 2 のアーム体 c 2 の回転角度を第 2 角度 θ_2 とし、第 2 のアーム体 c 2 に対する第 3 のアーム体 c 3 の回転角度を第 3 角度 θ_3 とし、第 3 のアーム体 c 3 に対する第 4 のアーム体 c 4 の回転角度を第 4 角度 θ_4 とし、第 4 のアーム体 c 4 に対する第 5 のアーム体 c 5 の回転角度を第 5 角度 θ_5 とし、第 5 のアーム体 c 5 に対する第 6 のアーム体 c 6 の回転角度を第 6 角度 θ_6 とする。

【0076】

図 7 は、図 6 に示すの真のモデルを反転した反転モデルの多関節マニピュレータ 20A を示す図である。また図 8 は、図 7 の反転モデルにおける多関節マニピュレータ 20A の 1 つの関節部を等価な関節部に置き換えた等価モデルの多関節マニピュレータ 20B を示す図である。図 7 および図 8 に示すモデルは、理解を容易にするために、真のモデルに対して異なる名称および参照符号とする。

【0077】

すなわち反転および等価モデルにおける第 1 のアーム体 e 1 は、真のモデルにおける第 6 のアーム体 c 6 に対応する。また反転および等価モデルにおける第 2 のアーム体 e 2 は、真のモデルにおける第 5 のアーム体 c 5 に対応する。また反転および等価モデルにおける第 3 のアーム体 e 3 は、真のモデルにおける第 4 のアーム体 c 4 に対応する。また反転および等価モデルにおける第 4 のアーム体 e 4 は、真のモデルにおける第 3 のアーム体 c 3 に対応する。また反転および等価モデルにおける第 5 のアーム体 e 5 は、真のモデルにおける第 2 のアーム体 c 2 に対応する。また反転および等価モデルにおける第 6 のアーム体 e 6 は、真のモデルにおける第 1 のアーム体 c 1 に対応する。このように反転および等価モデルにおける第 1 ～第 6 のアーム体 e 1 ～e 6 は、真のモデルにおける第 6 ～第 1 のアーム体 c 6 ～c 1 に反転してそれぞれ対応する。

【0078】

また同様に反転モデルにおける各関節部 f 1 ～f 6、各アーム体 e 1 ～e 6 の回転角度 $q_1 \sim q_6$ および各アーム体の軸線方向寸法 $i_0 \sim i_6$ もまた、真のモデルに対して異なる参照符号を付する。

【0079】

また等価モデルにおける多関節マニピュレータ 20B は、反転モデルにおける多関節マニピュレータ 20A に対して、第 3 のアーム体 e_3 と第 4 のアーム体 e_4 とを連結する関節部が異なる。等価モデルにおける多関節マニピュレータ 20B では、この関節部 F_3 は、第 3 および第 4 のアーム体 e_3 、 e_4 の軸線に垂直な回転軸線 L_3 まわりに各アーム体 e_3 、 e_4 の軸線を回転自在に連結する。この関節部 f_3 によって、第 3 および第 4 のアーム体 e_3 、 e_4 は、互いの軸線を含む一平面上を回転する。

【0080】

反転モデルでは、反転モデルにおける第 1 のアーム体 e_1 、すなわち真のモデルの第 6 のアーム体 c_6 の代表点 T を、演算座標系 Σ_{sb} の演算原点とする。また反転モデルにおいて、基台 21 に固定して設けられる対象座標系である基台座標系 Σ_{st} は、基台代表点 S を原点とする。反転モデルは、各アーム体 $e_1 \sim e_6$ の軸線が同軸に配置されて一直線状に連結される一連結状態において、基台座標系 Σ_{st} の対象 x 軸、対象 y 軸および対象 z 軸は、演算座標系 Σ_{sb} の演算 x 軸、演算 y 軸および演算 z 軸に対してそれぞれ同一方向に延びる。また一連結状態において演算座標系 Σ_{sb} および基台座標系 Σ_{st} は、各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の軸線方向に沿う方向に演算 z 軸および対象 z 軸が延びる。演算 z 軸および対象 z 軸は、演算座標系 Σ_{sb} の原点から基台座標系 Σ_{st} の原点に向かう方向を正とする。

【0081】

本発明の実施の形態の多関節マニピュレータ 20 では、手先装置 22 を固定し、基台 21 を変位可能とした場合に、ステップ $s_1 \sim$ ステップ s_6 を実行する。すなわち反転モデルにおいて、基台 21 を対象物とみなして、目標の位置および姿勢に移動させるための各アーム体 $e_1 \sim e_6$ の回転角度 $q_1 \sim q_6$ を求める。

【0082】

次に反転モデルとして求めた各アーム体 $e_1 \sim e_6$ の回転角度 $q_1 \sim q_6$ を、真のモデルに対応するように変換する。これによって真のモデルの多関節マニピュレータ 20 における、手先装置 22 を目標の位置および姿勢に移動させるため

の各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を求めることができる。

【0083】

多関節マニピュレータにおいて、基台側すなわち固定側に3軸交点が存在する場合よりも、手先装置側すなわち遊端部側に3軸交点が存在する場合のほうが、各アーム体の回転角度を容易に求めることができる。したがって本実施の多関節マニピュレータ20のように、基台側に3軸交点がある場合には、まず反転モデルに変換して各アーム体 $e_1 \sim e_6$ の回転角度 $q_1 \sim q_6$ を求め、その後、求められた反転モデルにおける各アーム体 $e_1 \sim e_6$ の回転角度 $q_1 \sim q_6$ を真のモデルに再変換することによって、各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を容易に求めることができる。

【0084】

以下、図5に示すフローチャートを参照して演算方法の手順を説明する。まずステップs11で、各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を求めるための準備工程を行う。準備工程では、各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を求めるにあたって、真のモデルにおける各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の各軸線方向寸法 $H_0 \sim H_6$ 、第1のアーム体 c_1 と第2のアーム体 c_2 との回転軸線 L_2 が各軸線から傾斜する角度、第3のアーム体 c_3 と第4のアーム体 c_4 との回転軸線 L_4 が各軸線から傾斜する角度、第5のアーム体 c_5 と第6のアーム体 c_6 との回転軸線 L_6 が各軸線から傾斜する角度とを取得し、多関節マニピュレータの諸条件を取得する。本実施の形態では、軸線から傾斜する回転軸線 L_2 、 L_4 、 L_6 が、各アーム体の軸線から傾斜する角度 α がともに45度の場合について説明する。このように多関節マニピュレータの諸条件が決定されると、ステップs12に進む。

【0085】

ステップs12では、真のモデルにおける演算座標系 Σ_{rb} に対する手先装置22の位置および姿勢を取得する。言換えると、第6のアーム体 c_6 の代表点 T の位置 (T_x , T_y , T_z) および姿勢 (q_o , q_a , q_t) を取得し、ステップs13に進む。

【0086】

ステップ s 1 3 では、まず真のモデルを反転モデルに変換するための変換行列を生成し、変換行列に基づいて、反転モデルにおける基台 2 1 の姿勢を求める。反転モデルにおける基台 2 1 の姿勢は、基台座標系 $\Sigma s t$ が演算座標系 $\Sigma s b$ の演算 x 軸まわりに回転する角度 $q x$ 、基台座標系 $\Sigma s t$ が演算座標系 $\Sigma s b$ の演算 y 軸まわりに回転する角度 $q y$ 、基台座標系 $\Sigma s t$ が演算座標系 $\Sigma s b$ の演算 z 軸まわりに回転する角度 $q z$ で表わされる。

【0 0 8 7】

基台 2 1 の姿勢 ($q x$, $q y$, $q z$) が求まると、反転モデルにおける基台代表点 S の位置を求める。この基台代表点 S の位置は、演算座標系 $\Sigma s b$ の演算 x 軸 $P x$ 、演算 y 軸 $P y$ 、演算 z 軸の座標 $P z$ で表わされる。反転モデルにおける基台 2 1 の姿勢 ($q x$, $q y$, $q z$) と基台代表点 S の位置 ($P x$, $P y$, $P z$) とを求めるとステップ s 1 4 に進む。

【0 0 8 8】

ステップ s 1 4 では、3 軸交点の位置を求める。3 軸交点は、第 5 のアーム体の代表点 $p 5$ であって、図 1 に示すマニピュレータ 2 0 の場合、第 5 のアーム体 $e 5$ と第 6 のアーム体 $e 6$ との回転軸線 $L 5$ と第 5 のアーム体 $e 5$ と第 6 のアーム体 $e 6$ の軸線とが交差する点であって、第 5 のアーム体 $e 5$ と第 6 のアーム体 $e 6$ とを連結する部分に設けられる。この 3 軸交点の位置を求めるために、まず演算座標系を第 5 のアーム体 $e 5$ に固定して設けられる対象座標系に変換する変換行列を求める。この変換行列 $R 0 5$ は、次式によって表わされる。

【0 0 8 9】

【数 1】

$$R_{01} = Rx[\alpha] \cdot Rz[q_1] \cdot Rx[-\alpha]$$

$$R_{02} = R_{01} \cdot Rz[q_2]$$

$$R_{03} = R_{02} \cdot Rx[\alpha] \cdot Rz[q_3] \cdot Rx[-\alpha]$$

$$R_{04} = R_{03} \cdot Rz[q_4]$$

$$R_{05} = R_{04} \cdot Rx[\alpha] \cdot Rz[q_5] \cdot Rx[-\alpha] \quad \dots (1)$$

【0 0 9 0】

ここで、 $R_{01} \sim R_{05}$ は、演算座標系を各アーム体 $e_1 \sim e_5$ に固定して設けられる対象座標系に変換する変換行列 $R_{01} \sim R_{03}$ である。また α は上述したように傾斜関節部における各アーム体の回転軸線が各アーム体の軸線に対して傾斜する角度である。 R_{01} における α は、第1のアーム体 e_1 と第2のアーム体 e_2 との回転軸線 L_1 が各アーム体 e_1 , e_2 の軸線に対して傾斜する角度の値を示す。また R_{03} における α は、第3のアーム体 e_3 と第4のアーム体 e_4 との回転軸線 L_3 が各アーム体 e_3 , e_4 の軸線に対して傾斜する角度の値を示す。また R_{05} における α は、第5のアーム体 e_5 と第6のアーム体 e_6 との回転軸線 L_5 が各アーム体 e_5 , e_6 の軸線に対して傾斜する角度の値を示す。また $q_1 \sim q_6$ は、各アーム体の回転角度であって、第1のアーム体 e_1 に対する第2のアーム体 e_2 の回転角度を、第1角度 q_1 とし、第2のアーム体 e_2 に対する第3のアーム体 e_3 の回転角度を第2角度 q_2 とし、第3のアーム体 e_3 に対する第4のアーム体 e_4 の回転角度を第3角度 q_3 とする。また第4のアーム体 e_4 に対する第5のアーム体 e_5 の回転角度を第4角度 q_4 とし、第5のアーム体 e_5 に対する第6のアーム体 e_6 の回転角度である第5角度 q_5 とし、第6のアーム体 e_6 に対する基台 21 の回転角度である第6角度 q_6 とする。各アーム体 $e_1 \sim e_6$ の回転角度 $q_1 \sim q_6$ は、各アーム体 $e_1 \sim e_6$ が一直線状に連結される一連結状態において、各アーム体 $e_1 \sim e_6$ の回転角度 $q_1 \sim q_6$ をゼロとする。

【0091】

また $R_z[\theta]$ 、 $R_y[\theta]$ 、 $R_x[\theta]$ は、演算座標系に対して対象座標系の姿勢を回転させるための回転行列である。 $R_z[\theta]$ は、対象座標系を演算 z 軸まわりに θ 度回転させる回転行列であり、次式にその成分を示す。また $R_y[\theta]$ は、対象座標系を演算 y 軸まわりに θ 度回転させる回転行列であり次式にその成分を示す。また $R_x[\theta]$ は、対象座標系を演算 x 軸まわりに θ 度回転させる回転行列でありその成分を次式に示す。

【0092】

【数 2】

$$R_z[\theta] = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

$$R_y[\theta] = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

$$R_x[\theta] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad \dots (4)$$

【0093】

ここで θ は、変数であり、数値または任意の変数が代入される。上式において、たとえば $R_z[q_1]$ は、(2)式に示す各成分における θ にそれぞれ q_1 が代入された行列を示す。また本発明において $\sin \theta$ は、 θ のサインの値を示し、 $\cos \theta$ は、 θ のコサインの値を示す。また記号「 \cdot 」は、乗算を示す。

また第5のアーム体 e_5 の代表点 p_5 の位置は、次式で表わされる。

【0094】

【数 3】

$$p_5 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ i_0 \end{pmatrix} + R_{01} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ i_1 \end{pmatrix} + R_{02} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ i_2 \end{pmatrix} + R_{03} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ i_3 \end{pmatrix} + R_{04} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ i_4 \end{pmatrix} \quad \dots (5)$$

【0095】

ここで手先代表点 T から第1のアーム体 e_1 の代表点 p_1 までの距離を i_0 とし、第1のアーム体 e_1 の代表点 p_1 から第2のアーム体 e_2 の代表点 p_2 までの距離を i_1 とし、第2のアーム体 e_2 の代表点 p_2 から第2のアーム体 e_3 の代表点 p_3 までの距離を i_2 とし、第3のアーム体 e_3 の代表点 p_3 から第4のアーム体 e_4 の代表点 p_4 までの距離を i_3 とする。また第4のアーム体 e_4 の代表点 p_4 から第5のアーム体 e_5 の代表点 p_5 までの距離を i_4 とし、第5のアーム体 e_5 の代表点 p_5 から第6のアーム体 e_6 の代表点 p_6 までの距離を i_5

とする。また第 6 のアーム体 e_6 の代表点 p_6 から基台代表点 S までの距離を i_6 とする。

【0096】

また第 1 のアーム体 e_1 の代表点 p_1 は、第 1 のアーム体 e_1 と第 2 のアーム体 e_2 との回転軸線 L_1 と第 1 のアーム体 e_1 の軸線とが交差する点であって、第 1 のアーム体 e_1 と第 2 のアーム体 e_2 を連結する部分に設けられる。また第 2 のアーム体 e_2 の代表点 p_2 は、第 2 のアーム体 e_2 と第 3 のアーム体 e_3 との回転軸線 L_2 が挿通し、第 2 のアーム体 e_2 と第 3 のアーム体 e_3 を連結部分に設けられる。また第 3 のアーム体 e_3 の代表点 p_3 は、第 3 のアーム体 e_3 と第 4 のアーム体 e_4 との回転軸線 L_3 と第 3 のアーム体 e_3 の軸線とが交差する点であって、第 3 のアーム体 e_3 と第 4 のアーム体 e_4 を連結する部分に設けられる。

【0097】

また第 4 のアーム体 e_4 の代表点 p_4 は、第 4 のアーム体 e_4 と第 5 のアーム体 e_5 との回転軸線 L_4 が挿通し、第 4 のアーム体 e_4 と第 5 のアーム体 e_5 を連結する部分に設けられる。また第 5 のアーム体 e_5 の代表点 p_5 は、第 5 のアーム体 e_5 と第 6 のアーム体 e_6 との回転軸線 L_5 と第 5 のアーム体 e_5 の軸線とが交差する点であって、第 5 のアーム体 e_5 と第 6 のアーム体 e_6 を連結する部分に設けられる。また第 6 のアーム体 e_6 の代表点 p_6 は、第 6 のアーム体 e_6 と基台 2 1 との回転軸線 L_6 が挿通し、第 6 のアーム体 e_6 と基台 2 2 とを連結する部分に設けられる。

【0098】

(5) 式から、3 軸交点の位置、すなわち第 5 のアーム体の代表点 p_5 を求めることができる。次に演算座標系 Σ_{sb} に対する基台座標系 Σ_{st} の変換行列 R_{uh} を求める。この変換行列 R_{uh} は、次式によって求められる。

【0099】

【数 4】

$$R_{uh} = R_x[q_x] \cdot R_y[q_y] \cdot R_z[q_z] \quad \dots (6)$$

【0100】

また(7)式によって、第5のアーム体e5の代表点p5の座標(P_{wx} , P_{wy} , P_{wz})の数値を求めることができる。さらに後述する動作を行うために、第5のアーム体e5の代表点p5の座標を(8)式に変換する。

【0101】

【数5】

$$p5 = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} - R_{uh} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ i5 + i6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{wx} \\ P_{wy} \\ P_{wz} \end{pmatrix} \quad \dots (7)$$

$$\begin{pmatrix} P_{xn} \\ P_{yn} \\ P_{zn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{wx} \\ P_{wy} + P_{wz} - i0 \\ P_{wy} - P_{wz} - i0 \end{pmatrix} \quad \dots (8)$$

【0102】

すなわち第5のアーム体e5の代表点p5のx座標を表すx座標値 P_{xn} を求める。またy座標にz座標を加算し、さらに手先代表点Tから第1のアーム体e1の代表点p1までの距離i0を減算したyz加算値 P_{yn} を求める。またy座標からz座標を減算し、さらに手先代表点Tから第1のアーム体e1の代表点p1までの距離i0を減算したyz減算値 P_{zn} を求める。

【0103】

上述したように第5のアーム体e5の代表点p5は、3軸交点となる。したがって(7)式を演算することによって、3軸交点p5の位置を求めることができる。3軸交点の位置を求めると、ステップs15に進む。

【0104】

ステップs15では、まず反転モデルにおける多関節マニピュレータ20Aを、等価モデルとなる多関節マニピュレータ20Bに変換する。図8に示す等価モデルにおいて、第1～第3のアーム体e1～e6の回転角度 Q_1 , Q_2 , Q_3 を求める。

【0105】

等価モデルにおいて、演算座標系 Σ_{sb} から第 1～第 3 のアーム体 $e_1 \sim e_3$ の代表点 $p_1 \sim p_3$ の姿勢にそれぞれ変換する変換行列 $R_{01} \sim R_{03}$ は、(9) 式で表わされる。(9) 式において α は、第 1 のアーム体 e_1 と第 2 のアーム体 e_2 との回転軸線 L_1 が、各アーム体 e_1 , e_2 の軸線に対して傾斜する角度である。また図 8 に示すモデルにおける第 5 のアーム体 e_5 の代表点 p_5 の位置は、次の (10) 式で表わされる。

【0106】

【数 6】

$$R_{01} = Rx[\alpha] \cdot Rz[Q_1] \cdot Rx[-\alpha]$$

$$R_{02} = R_{01} \cdot Rz[Q_2]$$

$$R_{03} = R_{02} \cdot Ry[Q_3] \quad \dots (9)$$

【0107】

【数 7】

$$p_5 = R_{01} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + R_{03} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ nr \end{pmatrix} \quad \dots (10)$$

【0108】

ここで、手先基準位置 T から第 1 のアーム体 e_1 の代表点 p_1 までの距離 i_0 を無視した場合における、第 1 のアーム体 e_1 の代表点 p_1 から第 3 のアーム体 e_3 の代表点 p_3 までの距離 ($i_1 + i_2$) を 1 とし、第 3 のアーム体 e_3 の代表点 p_3 から第 5 のアーム体 e_5 の代表点 p_5 までの距離 ($i_3 + i_4$) を第 1 のアーム体 e_1 の代表点 p_1 から第 3 のアーム体 e_3 の代表点 p_3 までの距離 ($i_1 + i_2$) の除算値 ($i_3 + i_4$) / ($i_1 + i_2$) を nr とする。

【0109】

実際の第 5 のアーム体 e_5 の代表点 p_5 は、上式で得られる値に、第 1 のアーム体 e_1 の代表点 p_1 から第 3 のアーム体 e_3 の代表点 p_3 までの距離 ($i_1 + i_2$) を乗算し、さらにその値に手先代表点 T から第 1 のアーム体 e_1 の代表点 p_1 までの距離 i_0 を加算した値となる。(10) 式に基づいて、第 5 のアーム

体 e 5 の代表点 p 5 の位置を求めると次の (1 1) 式となる。

$$\{0 \ 1 \ 1 \ 0\}$$

【数 8】

$$p5 = \begin{pmatrix} P5x \\ P5y \\ P5z \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} P5x &= -\sin \alpha \cdot \sin Q_1 \\ &\quad + nr(-\cos Q_3 \cdot \sin \alpha \cdot \sin Q_1 + (\cos Q_1 \cdot \cos Q_2 - \cos \alpha \cdot \sin Q_1) \sin Q_2) \\ P5y &= -\cos \alpha \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \cdot \cos Q_1 \cdot \sin \alpha \\ &\quad + nr(\cos Q_3(-\cos \alpha \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \cdot \cos Q_1 \cdot \sin \alpha) \\ &\quad + (\cos \alpha \cdot \cos Q_2 \cdot \sin Q_1 + (\cos^2 \alpha \cdot \cos Q_1 + \sin^2 \alpha) \sin Q_2) \sin Q_3) \\ P5z &= \cos^2 \alpha + \cos Q_1 \cdot \sin^2 \alpha + nr(\cos Q_3(\cos^2 \alpha + \cos Q_1 \cdot \sin^2 \alpha) \\ &\quad + (\cos Q_2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin Q_1 \\ &\quad + (-\cos \alpha \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \cdot \cos Q_1 \cdot \sin \alpha) \sin Q_2) \sin Q_3) \end{aligned}$$

… (11)

$$\{0 \ 1 \ 1 \ 1\}$$

(1 1) 式で第 1 のアーム体 e 1 と第 2 のアーム体 e 2 との回転軸線 L 1 とそれらの各アーム体 e 1, e 2 の軸線との角度 α を 45 度とすると、(1 2) 式となる。

$$\{0 \ 1 \ 1 \ 2\}$$

【数 9】

$$P5 = \begin{pmatrix} -\frac{\sin Q_1}{\sqrt{2}} + nr \left(-\frac{\cos Q_3 \cdot \sin Q_1}{\sqrt{2}} + \left(\cos Q_1 \cdot \cos Q_2 - \frac{\sin Q_1 \cdot \sin Q_2}{\sqrt{2}} \right) \sin Q_3 \right) \\ -\frac{1}{2} + \frac{\cos Q_1}{2} + nr \left(\left(-\frac{1}{2} + \frac{\cos Q_1}{2} \right) \cos Q_3 + \left(\frac{\cos Q_2 \cdot \sin Q_1}{\sqrt{2}} + \left(\frac{1}{2} + \frac{\cos Q_1}{2} \right) \sin Q_2 \right) \sin Q_3 \right) \\ \frac{1}{2} + \frac{\cos Q_1}{2} + nr \left(\left(\frac{1}{2} + \frac{\cos Q_1}{2} \right) \cos Q_3 + \left(\frac{\cos Q_2 \cdot \sin Q_1}{\sqrt{2}} + \left(-\frac{1}{2} + \frac{\cos Q_1}{2} \right) \sin Q_2 \right) \sin Q_3 \right) \end{pmatrix}$$

… (12)

$$\{0 \ 1 \ 1 \ 3\}$$

また第 5 のアーム体 e 5 の代表点 p 5 の演算 x 軸座標 p 5 x を示す座標式 P x n、第 5 のアーム体 e 5 の代表点 p 5 の演算 y 軸座標 p 5 y と、第 5 のアーム体

e 5 の代表点 p 5 の演算 z 軸座標 p 5 z とを加算した y z 加算値を表す y z 加算座標式 P y n、第 5 のアーム体 e 5 の代表点 p 5 の演算 z 軸座標 p z を減算した y z 減算値を表す y z 減算座標式 P z n を (13) 式に示す。

【0114】

【数10】

$$\begin{aligned}
 P5x = Pxn &= nr \cdot \cos Q_1 \cdot \cos Q_2 \cdot \sin Q_3 \\
 &\quad - \frac{\sin Q_1 (1 + nr \cdot \cos Q_3 + nr \cdot \sin Q_2 \cdot \sin Q_3)}{\sqrt{2}} \\
 P5y + P5z &= Pyn \\
 &= \sqrt{2} \left(nr \cdot \cos Q_2 \cdot \sin Q_1 \cdot \sin Q_3 \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\cos Q_1 (1 + nr \cdot \cos Q_3 + nr \cdot \sin Q_2 \cdot \sin Q_3)}{\sqrt{2}} \right) \\
 P5y - P5z &= Pzn = 1 + nr \cdot \cos Q_3 - nr \cdot \sin Q_2 \cdot \sin Q_3
 \end{aligned}
 \quad \dots (13)$$

【0115】

このように式を変形し、(13) 式を連立して解くことによって、(14) 式に示すように $\cos Q_3$ を表わすことができ、第 3 角度 Q_3 を求めることができる。これによって等価モデルにおける第 1 ～ 第 3 角度 $Q_1 \sim Q_3$ の解析式を容易に求めることができ、ステップ s 16 に進む。

【0116】

【数11】

$$\cos Q_3 = \frac{-2 - 2 \cdot nr^2 + 2 \cdot Pxn^2 + Pyn^2 + Pzn^2}{4 \cdot nr} \quad \dots (14)$$

【0117】

ステップ s 16 では、ステップ s 14 の (8) 式で求めた第 5 のアーム体 e 5 の代表位置 p 5 の x 座標値 P x n、y z 加算値 P y n、y z 減算値 P z n を、ステップ s 15 で求めた第 1 ～ 第 3 角度 $Q_1 \sim Q_3$ を示す式に代入することによって、第 1 ～ 第 3 角度 $Q_1 \sim Q_3$ の数値解を求めることができる。数値解は、目標とする基台 21 の位置が特異点でないかぎり、4 通りの組合せが得られる。このように等価モデルにおける第 1 ～ 第 3 角度 $Q_1 \sim Q_3$ の数値解が求まると、ステ

ップ s 17 に進む。

【0118】

ステップ s 17 では、ステップ s 16 で求めた等価モデルの第 1 ～ 第 3 角度 $Q_1 \sim Q_3$ を反転モデルの第 1 ～ 第 3 角度 $q_1 \sim q_3$ に変換する。このとき $\cos q_3$ は、次式で表わされる。(15) 式～(17) 式において α は、第 3 のアーム体 e 3 と第 4 のアーム体 e 4 との回転軸線 L 3 が各アーム体 e 3, e 4 に対して傾斜する角度である。

【0119】

【数 12】

$$\cos q_3 = (\operatorname{cosec} \alpha)^2 \cdot \cos Q_3 - (\cot \alpha)^2 \quad \dots (15)$$

【0120】

ここで $\operatorname{cosec} \alpha$ は、 α のコセカントの値を示す。また $\cot \alpha$ は、コタンジェントの値を示す。等価モデルの第 3 角度 Q_3 を (15) 式に代入することによって、反転モデルにおける第 3 角度 q_3 を求めることができる。

また $\cos q_2$ および $\sin q_2$ は、次の (16) 式によって求められる。

【0121】

【数 13】

$$\begin{aligned} \cos q_2 &= -(\cot \alpha (1 - \cos q_3 \cdot \sin Q_2 + \operatorname{cosec} \alpha \cdot \cos Q_2 \cdot \sin q_3) \sin Q_3 / D_2 \\ \sin q_2 &= \operatorname{cosec} \alpha (\cos \alpha \cdot \cos Q_2 (1 - \cos Q_3) - \sin Q_2 \cdot \sin Q_3) \sin Q_3 / D_2 \end{aligned} \quad \dots (16)$$

【0122】

ここで D_2 は、(17) 式によって与えられる。

【0123】

【数 14】

$$D_2 = (\cos \alpha)^2 (1 - \cos q_3)^2 + (\sin q_3)^2 \quad \dots (17)$$

【0124】

(16) 式によって反転モデルにおける第 2 角度 q_2 を求めることができる。

また等価モデルにおける第1角度 Q_1 は、反転モデルの第1角度 q_1 と同じ値になる。反転モデルにおける第1～第3角度 $q_1 \sim q_3$ は、3軸交点の特異点でないかぎり、等価モデルの場合と同様に4つの組合せが求められる。

【0125】

ステップs17で反転モデルにおける第1～第3角度 $q_1 \sim q_3$ が求まると、ステップs18に進み、反転モデルにおける第4～第6角度 $q_4 \sim q_6$ を求める。まず第5のアーム体 e_5 に固定して設けられる座標系の姿勢を求める。第5のアーム体 e_5 の変換行列 R_{wh} は、次の(18)式によって求められる。

【0126】

【数15】

$$R_{wh} = [R_{03}]^t \cdot R_{uh} \quad \dots (18)$$

【0127】

すなわち変換行列 R_{03} を転置した行列に、演算座標系 Σ_{sb} に対する基台座標系 Σ_{st} の変換行列 R_{uh} を乗算する。変換行列 R_{03} は、第1～第3角度 $q_1 \sim q_3$ が求まっているので、(1)式から求めることができる。また変換行列 R_{uh} は、上式からその数値解を求めることができる。また変換行列 R_{uh} は、(6)式から求めることができる。変換行列 R_{wh} の各成分の数値解が求められると、(19)式を解くことによって、第4～第6角度 $q_4 \sim q_6$ を求めることができる。(19)式において α は、第5のアーム体 e_5 と第6のアーム体 e_6 との回転軸線 L_5 と各アーム体 e_5 、 e_6 の軸線に対して傾斜する角度である。

【0128】

【数16】

$$R_{wh} = R_z[q_4] \cdot R_x[\alpha] \cdot R_z[q_5] \cdot R_x[-\alpha] \cdot R_z[q_6] \quad \dots (19)$$

【0129】

反転モデルにおける第4～第6角度 $q_4 \sim q_6$ は、基台代表点の特異点でないかぎり第1～第3角度 $q_1 \sim q_3$ の1つの組合せに対して2つの組合せが求められる。したがって3軸交点および基台代表点の特異点でないかぎり、8とおりの

第1～第6角度 $q_1 \sim q_6$ の組合せを求めることができる。このようにステップ s 18 で反転モデルにおける第4～第6角度 $q_4 \sim q_6$ を求めると、ステップ s 19 に進む。

【0130】

ステップ s 19 では、反転モデルにおける各アーム体 $e_1 \sim e_6$ の第1～第6角度 $q_1 \sim q_6$ を (20) 式に代入することによって、真のモデルにおける各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の回転角度である第1～第6角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ に変換することができる。真のモデルにおける各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の第1～第6の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ が求まるとステップ s 20 に進み、動作を終了する。

$$\begin{aligned}\theta_1 &= q_6 \\ \theta_2 &= q_5 \\ \theta_3 &= q_4 \\ \theta_4 &= q_3 \\ \theta_5 &= q_2 \\ \theta_6 &= q_1\end{aligned}\quad \dots (20)$$

【0131】

以上のように演算することで、真のモデルにおける各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を容易に求めることができる。これによって手先装置 22 を目標とする位置および姿勢に配置するための各アーム体の回転角度を求めることができる。また演算結果に従って多関節マニピュレータの各アーム体を制御することによって、手先装置 22 を目標とする位置および姿勢に配置することができる。上述する演算は、コンピュータを用いて計算してもよく、また手動で計算してもよい。

【0132】

演算された各アーム体の回転角度は解析解である。したがって、収束演算および補間近似によって各アーム体の回転角度を求める場合に比べて、短時間でかつ正確に求めることができる。またコンピュータを用いて演算した場合には、その処理能力が低い場合であっても、各アーム体の回転角度を求めることができる。さらに上述したように各回転角度の8つの組合せを得ることができ、エネルギー

コストおよび障害物の有無を考慮して8つの組合せのうちから最適な各アーム体の回転角度の組合せを選択することができる。さらに図1に示す多関節マニピュレータ20の場合には、真のモデルを反転モデルに変換した。これによって容易に各アーム体 $c_1 \sim c_6$ の第1～第3の回転角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を求めることができる。

【0133】

また上述した演算結果を用いて、多関節マニピュレータの各アーム体の代表点間の距離 $H_0 \sim H_6$ 、回転軸 $L_1 \sim L_6$ と各アーム体との軸線とが傾斜する角度 α 、手先装置22の位置 T (T_x , T_y , T_z)、手先装置22の姿勢 (q_o , q_a , q_t) を変数として、真のアーム体 $c_1 \sim c_6$ の角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を表わした解析式を求めておき、この解析式に各変数を示す数値を代入することによって、真のアーム体 $c_1 \sim c_6$ の角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を求めてもよい。

【0134】

また本実施の形態では、傾斜関節部における各アーム体の回転軸線と各アーム体との軸線の傾斜角度は、共通の角度であって45度である多関節マニピュレータの各アーム体の回転角度を求めた。傾斜関節部における各アーム体の回転軸線と各アーム体との軸線の傾斜角度は、共通でなくてもまた45度以外であっても、各アーム体の回転角度を求めることができる。

【0135】

たとえば図7に示す反転モデルの多関節マニピュレータ20Aにおいて、第1のアーム体 e_1 と第2のアーム体 e_2 との回転軸線 L_2 と各アーム体 c_1 , c_2 との軸線との傾斜角度が α 度であって、第3のアーム体 e_3 と第4のアーム体 e_4 との回転軸線 L_3 と各アーム体 c_3 , c_4 との軸線との傾斜角度が β 度であって、第5のアーム体 e_5 と第6のアーム体 e_6 との回転軸線 L_5 と各アーム体 c_5 , c_6 との軸線との傾斜角度が γ 度である場合であっても、 yz 加算座標式 P_{yn} および yz 減算式 P_{zn} に適切な係数を乗算することによって各アーム体 $e_1 \sim e_6$ の角度 $q_1 \sim q_6$ を求めることができる。

【0136】

また3軸交点で交差する回転軸線以外の残余の回転軸線のうち、少なくとも1

つが対応する各アーム体の軸線に対して45度の場合には、より簡単に第1～第3角度を求めることができる。

【0137】

反転モデルにおいて、第1のアーム体e1と第2のアーム体e2との回転軸線L1と各アーム体の軸線との傾斜角度が45度であって、第3のアーム体e3と第4のアーム体e4との回転軸線L3と各アーム体の軸線との傾斜角度が45でない場合であっても、第3のアーム体e3と第4のアーム体e4を連結する関節部を図8に示すように等価モデルに変換することによって簡単に求めることができる。具体的には、3軸交点のy座標とz座標とを加算した式を表わす加算式、y座標からz座標を減算した式を表わす減算式を簡略化することができ、さらに容易に第1～第3角度を求めることができる。

【0138】

同様に第3のアーム体e3と第4のアーム体e4との回転軸線L3と、各アーム体の軸線と、の傾斜角度が45度であって、第1のアーム体e1と第2のアーム体e2との回転軸線L1と各アーム体の軸線との傾斜角度が45でない場合であっても、第1のアーム体e1と第2のアーム体e2を連結する関節部を等価モデルに変換することによって簡単に求めることができる。

【0139】

したがって、上述した3軸交点を有する多関節マニピュレータのうち、直列に順に並んで設けられる第1～第6のアーム体のうち第1～第3のアーム体を連結する関節部のうち少なくとも1つの傾斜関節部によって連結される2つのアーム体の回転軸線が、これら2つのアーム体の軸線に対して45度を成して傾斜する多関節マニピュレータを用いることによって、各アーム体の回転角度をより簡単に求めることができる。また本発明において、真のモデルは、基台側に3軸交点が設けられたが、手先側に3軸交点が設けられてもよい。この場合には、反転モデルに変換することなく、容易に各アーム体の回転角度を求めることができる。

【0140】

したがって本実施の形態の真のモデルに示すように、固定端部側の回転軸線L1, L2, L3が3軸交点で交差し、第3のアーム体と第4のアーム体との回転

軸線 L3 と各アーム体の軸線との傾斜角が 45 度であって、第 5 のアーム体と第 6 のアーム体との回転軸線 L6 と各アーム体の軸線との傾斜角が任意の角度である第 1 の多関節マニピュレータ、または固定端部側の回転軸線 L1, L2, L3 が 3 軸交点で交差し、第 3 のアーム体と第 4 のアーム体との回転軸線 L3 と各アーム体の軸線との傾斜角が任意の角度であって、第 5 のアーム体と第 6 のアーム体との回転軸線 L6 と各アーム体の軸線との傾斜角が 45 度である第 2 の多関節マニピュレータにおいては、反転モデルに変換し、さらに傾斜角が任意の角度となる関節部を等価モデルに変換することによってより簡単に各アーム体の回転角度を求めることができる。

【0141】

また反転モデルに示すように遊端部側の回転軸線 L4, L5, L6 が 3 軸交点で交差し、第 1 のアーム体と第 2 のアーム体との回転軸線 L1 と各アーム体の軸線との傾斜角が 45 度であって、第 3 のアーム体と第 4 のアーム体との回転軸線 L3 と各アーム体の軸線との傾斜角が任意の角度である第 3 の多関節マニピュレータ、または遊端部側の回転軸線 L4, L5, L6 が 3 軸交点で交差し、第 1 のアーム体と第 2 のアーム体との回転軸線 L1 と各アーム体の軸線との傾斜角が任意の角度であって、第 3 のアーム体と第 4 のアーム体との回転軸線 L3 と各アーム体の軸線との傾斜角が 45 度である第 4 の多関節マニピュレータにおいては、傾斜角が任意の角度となる関節部を等価モデルに変換することによってより簡単に各アーム体の回転角度を求めることができる。また図 8 に示すような、第 3 のアーム体 e3 と第 4 のアーム体 e4 とを連結する関節部が第 3 および第 4 のアーム体 e3, e4 に垂直な場合であっても、各アーム体の回転角度を求めることができる。

【0142】

図 9 は、本発明の他の多関節マニピュレータをモデル化した他のモデルを示す図である。他のモデルは、図 9 に示す反転モデルの第 6 のアーム体 e6 と基台 21 とが固定されるモデルである。上述した方法と同様の演算方法によって、第 1 ～第 5 のアーム体 e1 ～e5 の回転角度 $q_1 \sim q_5$ を求めることができる。

【0143】

【発明の効果】

以上のように請求項1記載の本発明によれば、対象物が目標とする位置および姿勢で配置されるとき、第1～第6角度を短時間で求めることができる。これによって対象物の移動ごとに各アーム体の角度を求めることが可能である。たとえば予め定められる経路を移動する対象物の位置および姿勢を連続的に入力することによって、その連続的に変化する入力値に応じて各アーム体の角度を順次変化させることができる。これによって対象物を目標とする位置に移動させるときに、高速でかつスムーズに移動させることができる。

【0144】

また各角度の解析解を求めることで、対象物が目標とする位置に移動するにあたって、各角度のすべての組合せを求めることができる。たとえば6自由度を有する多関節マニピュレータの場合、8つの組合せの回転角度を求めることができる。これによって対象物が目標とする位置および姿勢に配置した状態で、多関節マニピュレータの各アーム体の角度を複数の組合せの中から選択することができる。たとえばエネルギーコストおよび障害物の有無などを考慮して複数の組合せから最適な各アーム体の回転角度の組合せを選択できる。

【0145】

また請求項2記載の本発明によれば、対象物が目標とする位置および姿勢で配置されるとき、第1～第5角度を短時間で求めることができる。これによって対象物の移動ごとに各アーム体の角度を求めることが可能である。たとえば予め定められる経路を移動する対象物の位置および姿勢を連続的に入力することによって、その連続的に変化する入力値に応じて各アーム体の角度を順次変化させることができる。これによって対象物を目標とする位置に移動させるときに、高速でかつスムーズに移動させることができる。

【0146】

また各角度の解析解を求めることで、対象物が目標とする位置に移動するにあたって、各角度のすべての組合せを求めることができる。これによって対象物が目標とする位置および姿勢に配置した状態で、多関節マニピュレータの各アーム体の回転角度を複数の組合せの中から選択することができる。たとえばエネルギ

ーコストおよび障害物の有無などを考慮して複数の組合せから最適な各角度の角度の組合せを選択できる。

【0147】

また請求項3記載の本発明によれば、演算手段が、対象物が目標とする位置および姿勢で配置されるとき、第1～第6角度を短時間で求めることができる。これによって対象物の移動ごとに各アーム体の角度を求めることが可能である。また出力手段によって、演算結果を多関節マニピュレータに与える。たとえば予め定められる経路を移動する対象物の位置および姿勢を連続的に入力手段に入力することによって、出力手段から出力される各アーム体の回転角度に基づいて、各アーム体を回転させることによって、連続的に変化する入力値に応じて各アーム体の回転角度を順次変化させることができる。これによって対象物を目標とする位置に移動させるときに、高速でかつスムーズに移動させることができる。

【0148】

また演算手段が、各アーム体の回転角度の解析解を求めることで、対象物が目標とする位置に移動するにあたって、各角度のすべての組合せを求めることができる。たとえば6自由度を有する多関節マニピュレータの場合、8つの組合せの回転角度を求めることができる。これによって対象物が目標とする位置および姿勢に配置した状態で、多関節マニピュレータの各アーム体の角度を複数の組合せの中から選択することができる。たとえばエネルギーコストおよび障害物の有無などを考慮して複数の組合せから最適な各アーム体の回転角度の組合せを選択できる。

【0149】

また請求項4記載の本発明によれば、演算手段が、対象物が目標とする位置および姿勢で配置されるとき、第1～第5角度を短時間で求めることができる。これによって対象物の移動ごとに各アーム体の回転角度を求めることが可能である。また出力手段によって、演算結果を多関節マニピュレータに与える。たとえば予め定められる経路を移動する対象物の位置および姿勢を連続的に入力手段に入力することによって、出力手段から出力される各アーム体の角度に基づいて、各アーム体を回転させることによって、連続的に変化する入力値に応じて各アーム

ム体の角度を順次変化させることができる。これによって対象物を目標とする位置に移動させるときに、高速でかつスムーズに移動させることができる。

【0150】

また演算手段が、各角度の解析解を求めることで、対象物が目標とする位置に移動するにあたって、各角度のすべての組合せを求めることができる。これによって対象物が目標とする位置および姿勢に配置した状態で、多関節マニピュレータの各アーム体の角度を複数の組合せの中から選択することができる。たとえばエネルギーコストおよび障害物の有無などを考慮して複数の組合せから最適な各アーム体の回転角度の組合せを選択できる。

【0151】

請求項5記載の本発明によれば、その対象物と第6のアーム体との回転軸線と、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のアーム体との回転軸線とが交差する3軸交点を有する。これによって姿勢制御される場合、対象物の位置および姿勢が決定されると、姿勢制御装置によって、3軸交点の座標を一意的に求めることができる。これによって上述したような姿勢制御装置によって、対象物が目標とする位置および姿勢に配置された場合の各アーム体の各第1～第6角度が解析的に求められる。したがって従来6つの関節部を有する多関節マニピュレータでは、解析解を求めることができなかったが、本発明のような構成にすることによって解析解を求めることができ、高速かつ正確な位置決めを行うことができる。

【0152】

さらに、第1～第3のアーム体を連結する関節部のうち少なくとも1つの傾斜関節部によって連結される2つのアーム体の回転軸線は、これら2つのアーム体の軸線に対して45度を成して傾斜する場合には、上述したような姿勢制御装置が、各角度を求めるための式を簡略化することができる。これによって姿勢制御装置にさらに短時間で第1～第6角度を求めさせることができる。

【0153】

請求項6記載の本発明によれば、その対象物と第6のアーム体との回転軸線と、第6のアーム体と第5のアーム体との回転軸線と、第5のアーム体と第4のア

ーム体との回転軸線とが交差する 3 軸交点を有する。これによって姿勢制御される場合、対象物の位置および姿勢が決定されると、姿勢制御装置によって、3 軸交点の座標を一意的に求めることができる。これによって上述したような姿勢制御装置によって、対象物が目標とする位置および姿勢に配置された場合の各アーム体の各第 1～第 6 角度が解析的に求められる。

【0154】

このときさらに第 1～第 3 のアーム体を連結する関節部のうち少なくとも 1 つの傾斜関節部によって連結される 2 つのアーム体の回転軸線は、これら 2 つのアーム体の軸線に対して 45 度を成して傾斜する場合には、上述したような姿勢制御装置が、各角度を求めるための式を簡略化することができる。これによって姿勢制御装置にさらに短時間で第 1～第 6 の角度を求めさせることができる。したがって従来 5 つの関節部を有する多関節マニピュレータでは、解析解を求めることができなかったが、本発明のような構成にすることによって解析解を求めることができ、高速かつ正確な位置決めを行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施の一形態である多関節マニピュレータ 20 を示す正面図である。

【図 2】

位置決め演算装置 30 によって姿勢制御される多関節マニピュレータ 20 を示す図である。

【図 3】

手先装置 22 を移動させる場合に位置決め演算装置 30 によって姿勢制御される多関節マニピュレータ 1 を説明するための図である。

【図 4】

本発明の位置決め演算方法を大略的に示すフローチャートである。

【図 5】

本発明の実施の一形態の演算処理方法を具体的に示すフローチャートである。

【図 6】

本発明の多関節マニピュレータをモデル化した真のモデルを示す図である。

【図 7】

図 6 に示すの真のモデルを反転した反転モデルを示す図である。

【図 8】

図 7 の反転モデルにおける多関節マニピュレータの 1 つの関節部を等価な関節部に置き換えた等価モデルを示す図である。

【図 9】

本発明の他の多関節マニピュレータをモデル化した他のモデルを示す図である。

。

【図 10】

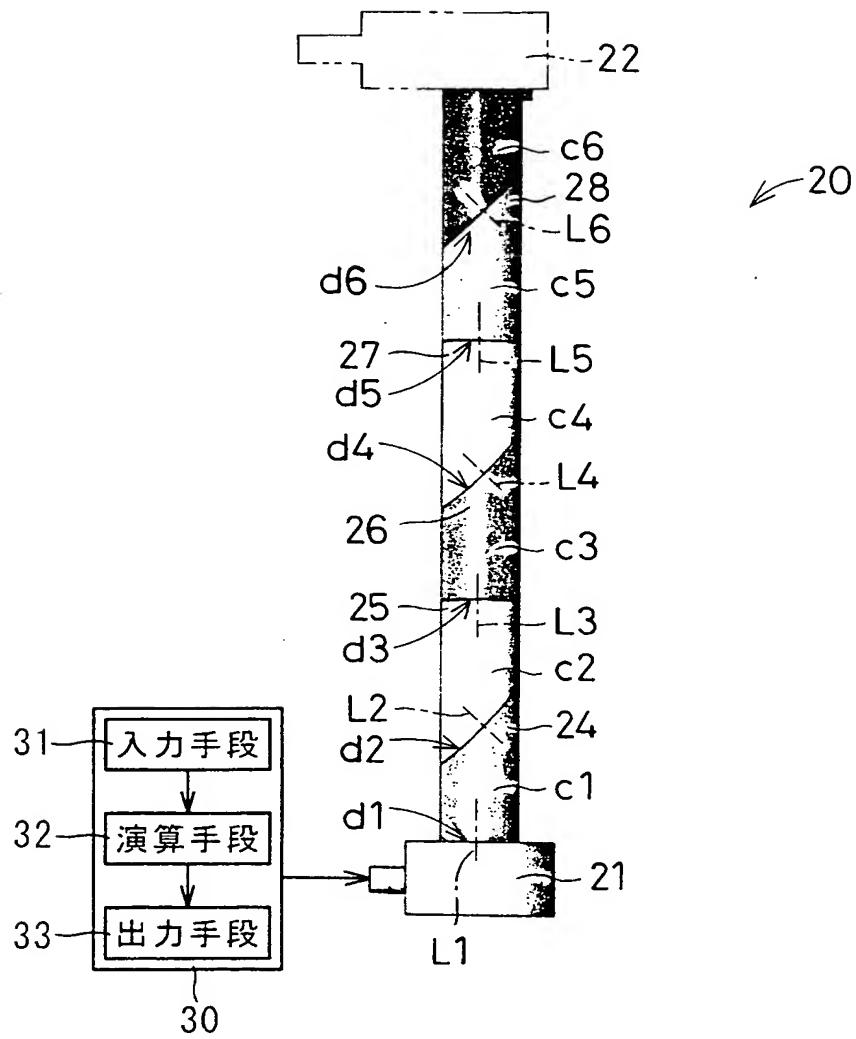
姿勢制御される従来の多関節マニピュレータ 1 の一部を示す図である。

【符号の説明】

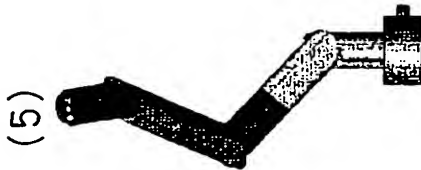
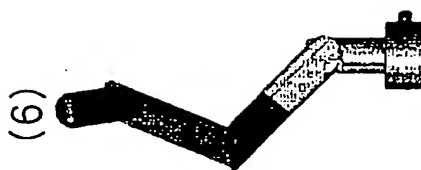
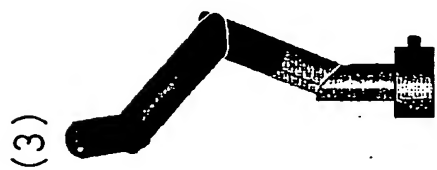
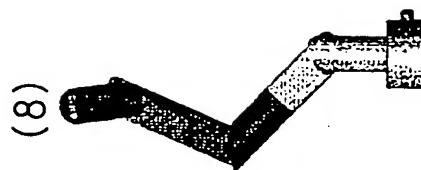
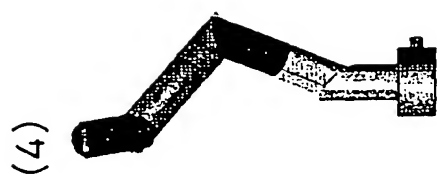
- 20 多関節マニピュレータ
- 21 基台
- 22 手先装置
- 30 位置決め演算装置
- 31 入力手段
- 32 演算手段
- 33 出力手段
- c1～c6、e1～e6 アーム体
- d1～d6、f1～f6 関節部
- $\theta_1 \sim \theta_6$ 、 $q_1 \sim q_6$ 回転角度
- p1～p6 各アーム体の代表点
- S 基台代表点
- T 手先代表点

【書類名】 図面

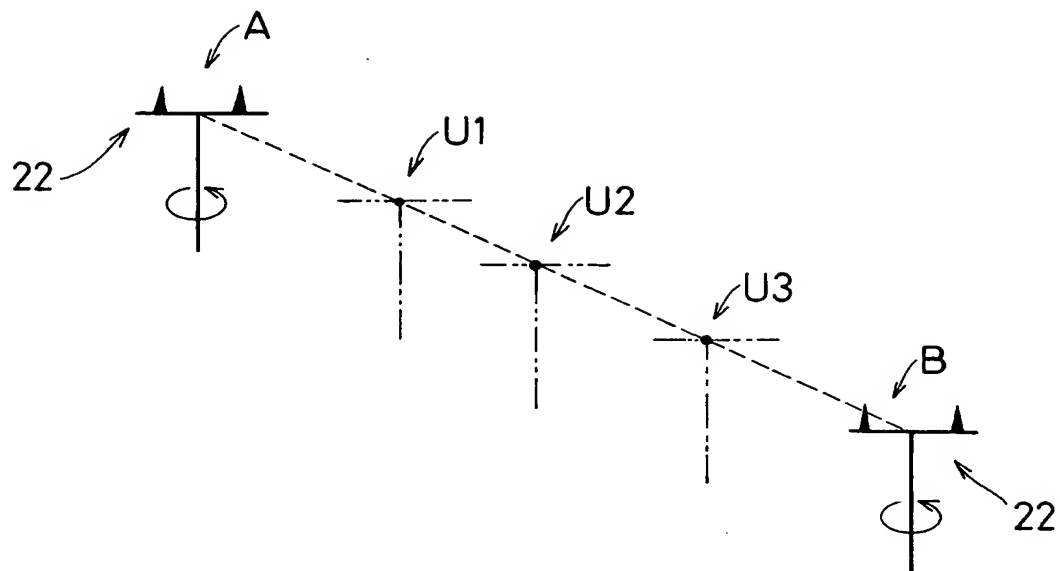
【図 1】



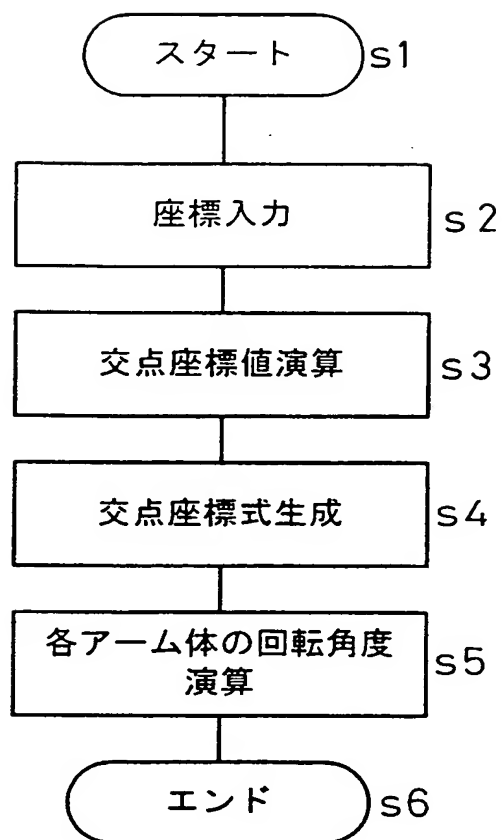
【図 2】



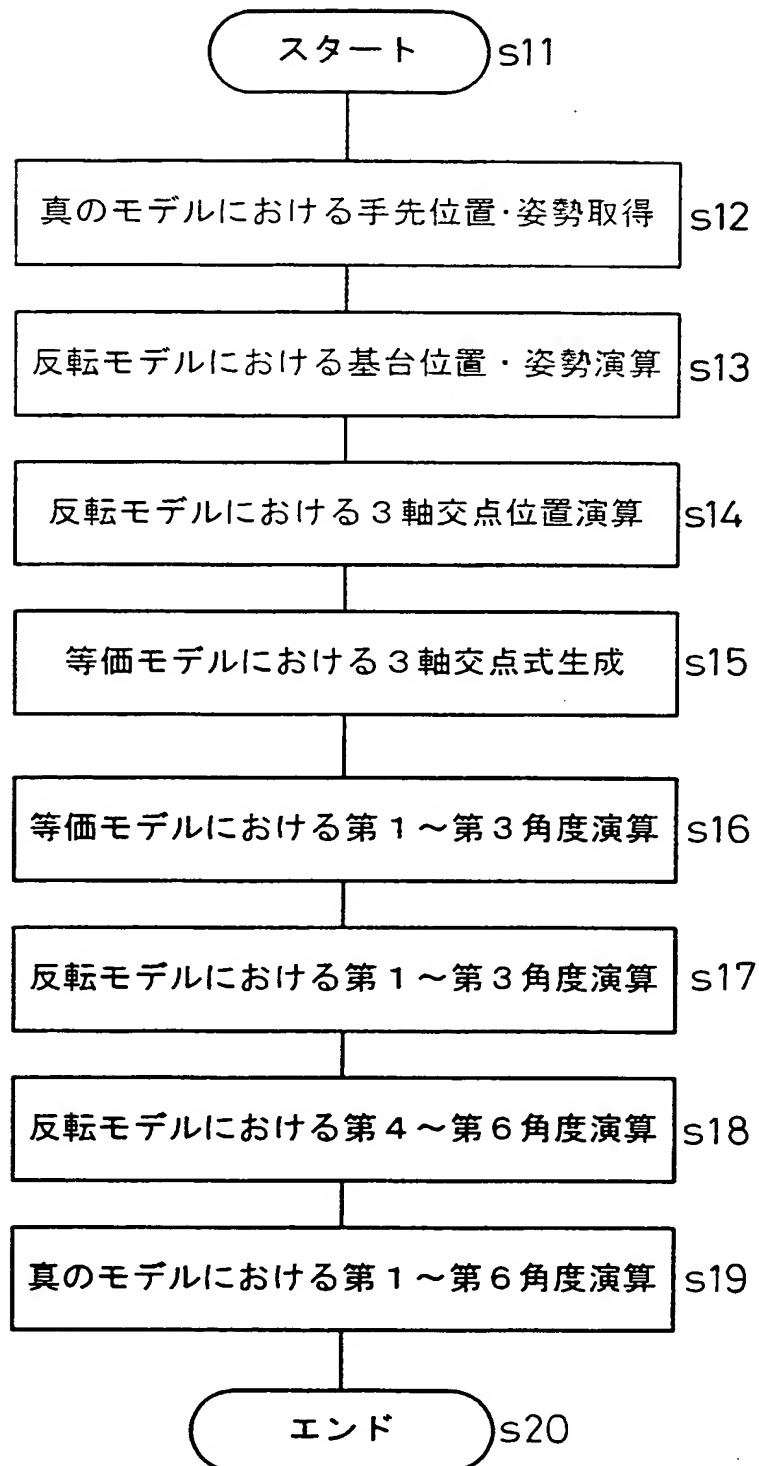
【図 3】



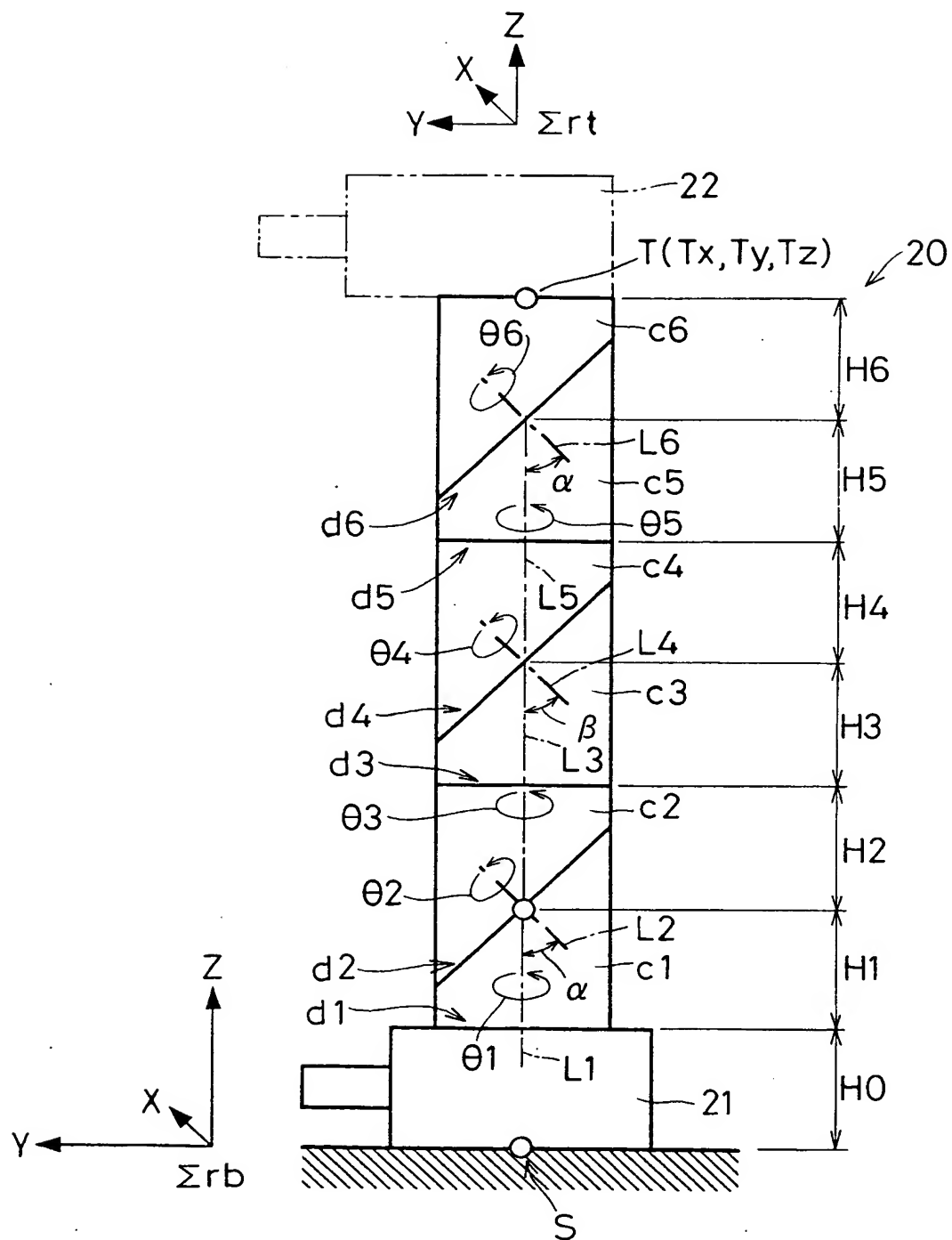
【図 4】



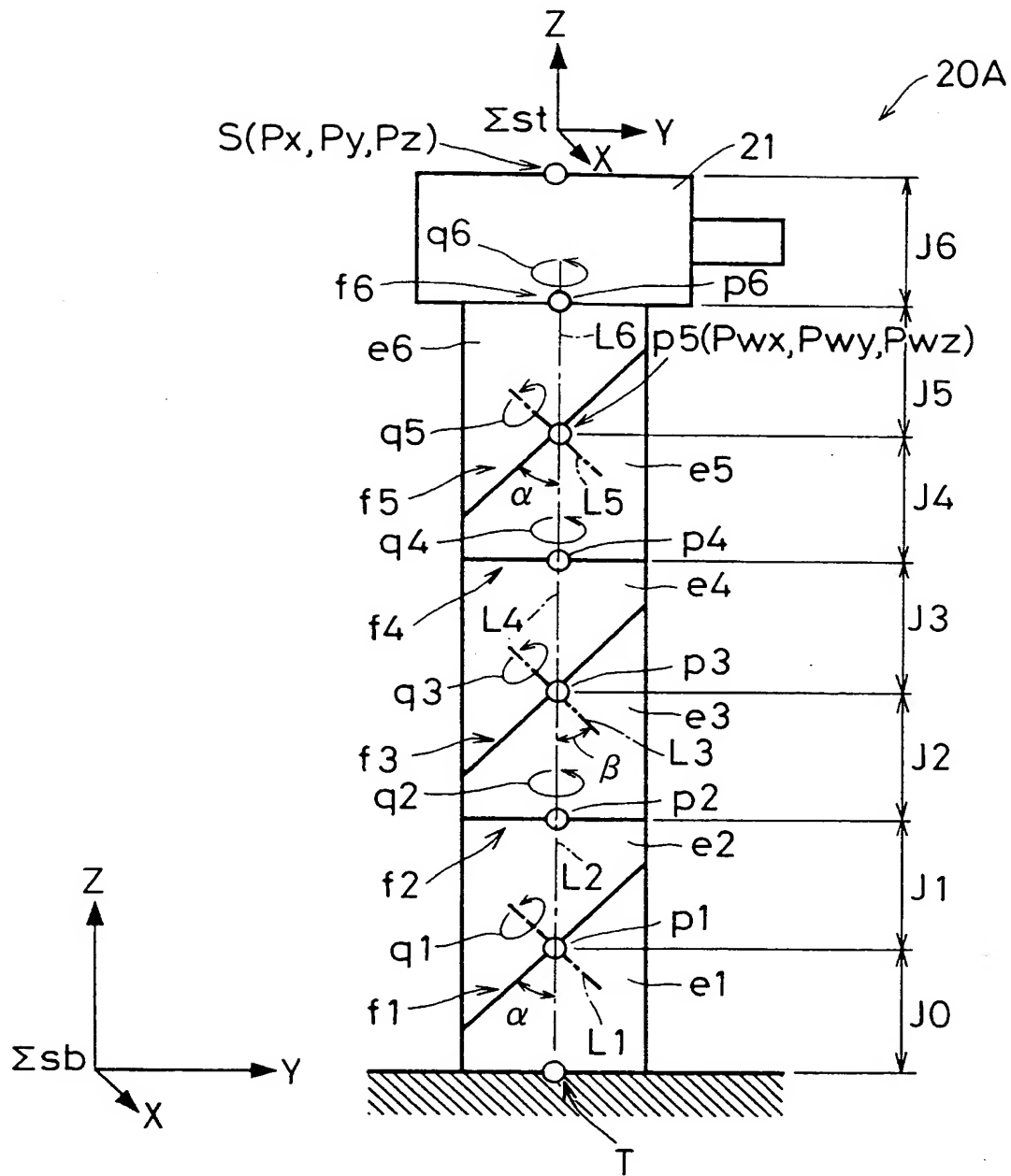
【図 5】



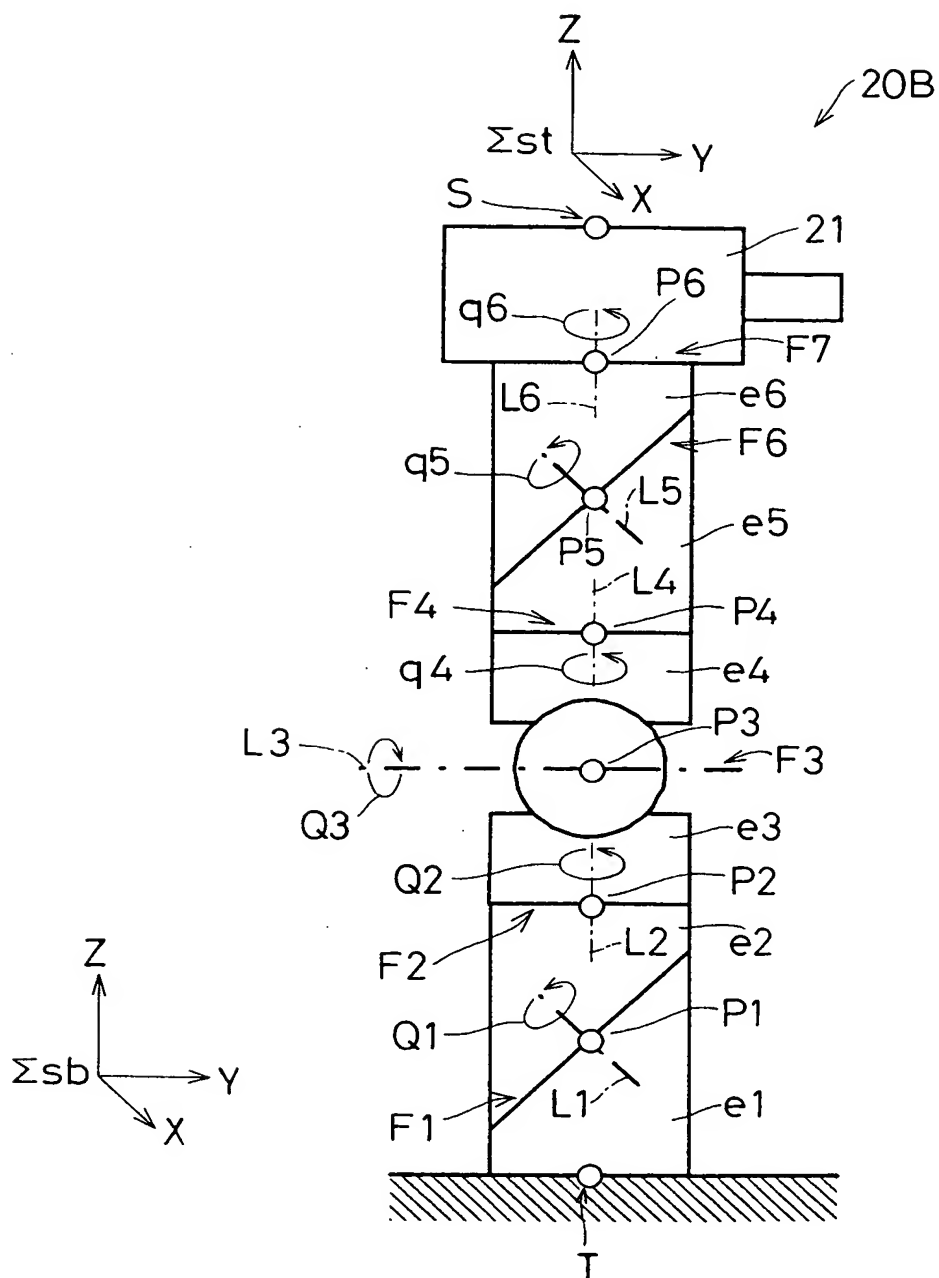
【図 6】



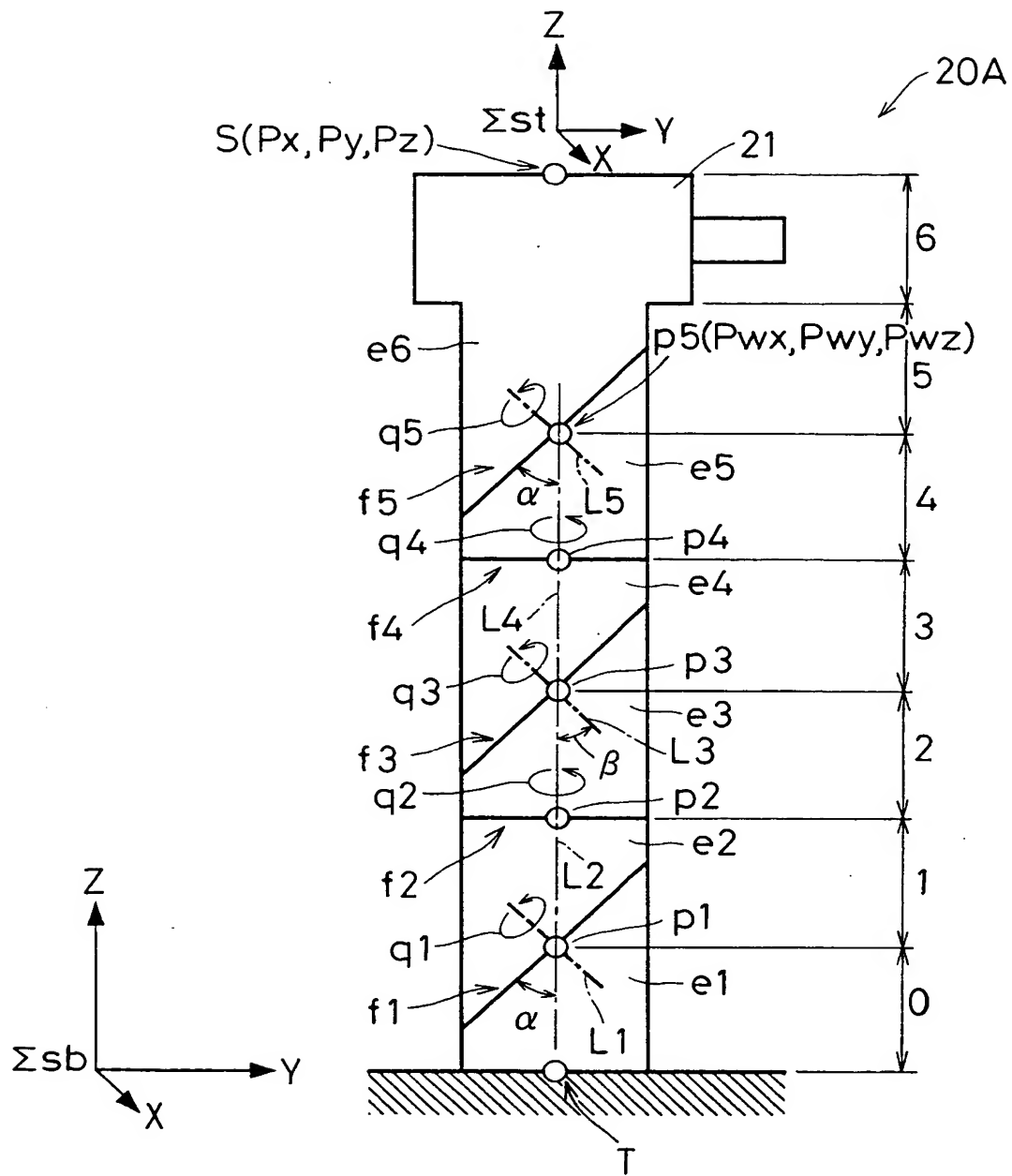
【図 7】



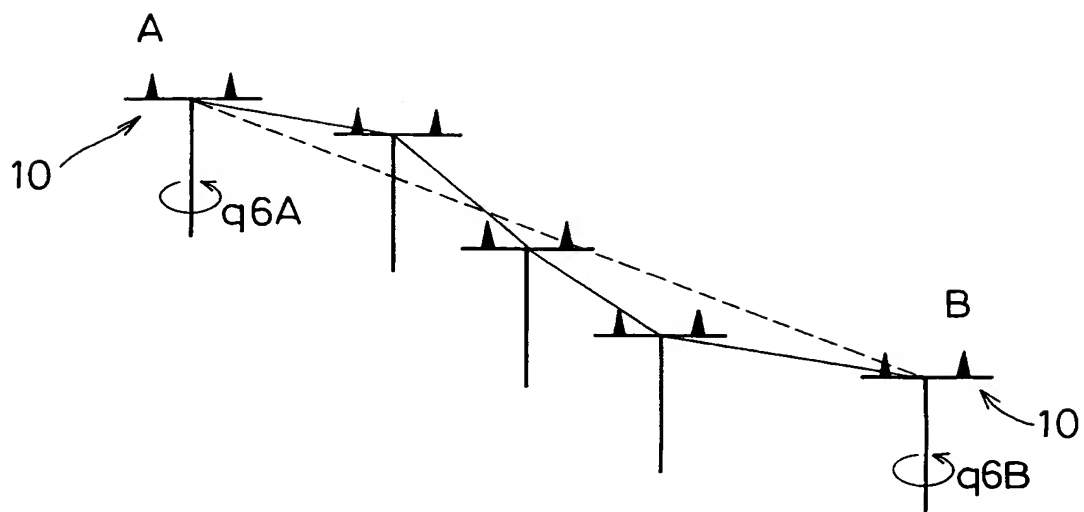
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 対象物が目標とする位置および姿勢に配置されるとき各アーム体の角度の解析解を求めることができる位置決め演算方法を提供する。

【解決手段】 第1～第3角度を変数としてx座標を表すx座標式と、y座標にz座標を加算した加算値を表すyz加算座標式と、y座標からz座標を減算した減算値を表すyz減算座標式とを含む座標式を解く。このようにyz加算座標式およびyz減算座標式を用いることによって、各座標式に含まれる第1から第3の角度を解析的に容易に求めることができる。また第1～第3角度に基づくことによって、第4～第6角度の解析解を求めることができる。このように第1～第6の角度を解析解から求めることで、対象物が目標とする位置および姿勢で配置されるときに、収束演算によって第1～第6角度を求める必要がなく、第1～第6角度を短時間で求めることができる。

【選択図】 図1

特願 2002-316760

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000000974]

1. 変更年月日

1990年 8月22日

[変更理由]

新規登録

住 所

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号

氏 名

川崎重工業株式会社